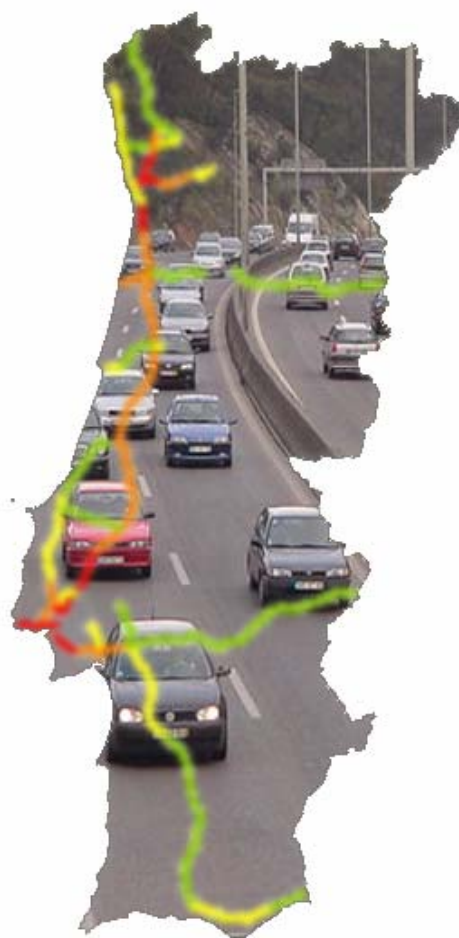




**Pedro Miguel Terroa
Torres**

Avaliação das Emissões do Sector Rodoviário em Portugal





**Pedro Miguel Terroa
Torres**

**Avaliação das Emissões do Sector Rodoviário em
Portugal**

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica, realizada sob a orientação científica do Doutor Casimiro Pio, Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

o júri

presidente

Doutora Margarida Maria Correia Marques
professora auxiliar da Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

Doutor Casimiro Pio
professor catedrático da Universidade de Aveiro

Doutor Francisco Manuel Cardoso Ferreira
professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Doutora Teresa Filomena Vieira Nunes
professora associada da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Ao Instituto do Ambiente por ter proporcionado todas as condições necessárias à realização deste trabalho.

Ao Professor Casimiro Pio e ao Professor Francisco Ferreira pela orientação científica deste estudo.

Um agradecimento especial ao Engenheiro Vitor Góis pelas sugestões, pelos esclarecimentos e pelo apoio prestado durante todo o processo.

Aos pais e namorada pelo apoio à realização desta tese.

palavras-chave

Inventário de Emissões, Transportes, Alocação Espacial, Alocação Temporal.

resumo

Os transportes rodoviários são um elemento essencial no modo de vida actual fornecendo mobilidade a pessoas e bens. No entanto, o transporte rodoviário contribui para diversos problemas ambientais tais como as alterações climáticas, a acidificação, a degradação da qualidade do ar, ruído, ocupação do território e fragmentação dos habitats naturais.

O controlo das emissões atmosféricas deve basear-se num inventário de emissões credível uma vez que esta é ferramenta fornece informação sobre as fontes e as quantidades de emissão o que permite elaborar medidas específicas para os sectores onde a quantidade de emissões deve decrescer.

De acordo com o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas, o sector do transporte rodoviário deve ser considerado prioritário na melhoria das estimativas de emissões dado o crescimento das emissões deste sector em Portugal.

O presente estudo propõe uma metodologia para a estimativa de emissões a nível nacional usando uma combinação de abordagens: *top-down* e *bottom-up*. Foi também realizada a alocação espacial das emissões para Portugal continental. A alocação temporal foi efectuada para as auto-estradas de acordo com os dados disponíveis.

A abordagem utilizada permitiu obter melhorias significativas na estimativa de emissões quando comparando com estimativas oficiais realizadas em anos anteriores. Os resultados podem ser utilizados no âmbito de compromissos internacionais como sejam as submissões de emissões para o Protocolo de Kyoto, para a Convenção para a Poluição Trans-fronteiriça ou para a Directiva dos Tectos Nacionais de Emissão.

keywords

Emission Inventories, Transports, Spatial Allocation, Temporal Allocation.

abstract

Road transportation is a key element in modern live by providing mobility to people and goods. However, road transportation contributes to several environmental problems such as climate change, acidification, local air problems, noise, land occupation and disruption of natural habitats.

The control of air emissions has to rely on a quality emissions inventory once this tool gives the information about the state of emission sources and skins which allows targeting specific sectors where emissions should decrease. The growth of emissions from road transportation makes it a priority sector for estimations improvements according to the United Nations Framework Convention on Climate Change.

This study suggests a national improved methodology to estimate emissions from road transportation combining top-down and bottom-up approaches. Spatial allocation was performed for Portugal mainland and temporal allocation was performed for highway line sources according with available traffic data.

The approach leads to significant improvements when compared to previous emissions estimations. The results could be used to answer to international agreements such as the Kyoto Protocol, the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution or the National Emission Ceiling Directive.

ÍNDICE

1	Introdução.....	2
1.1	Âmbito	2
1.2	Objectivos	4
2	O Sector do Transporte Rodoviário	6
2.1	Conceitos Gerais	6
2.2	Transportes Rodoviários, Alterações Climáticas e Qualidade do Ar	8
2.2.1	<i>Alterações Climáticas</i>	9
2.2.2	<i>Qualidade do Ar</i>	10
2.3	Factores que Influenciam as Emissões	14
2.3.1	<i>Funções</i>	14
2.3.2	<i>Emissões a Frio</i>	27
2.3.3	<i>Emissões Evaporativas</i>	28
2.4	Metodologias para a Estimativa de Emissões	30
2.4.1	<i>Iniciativas a Nível Europeu</i>	30
2.4.2	<i>Actividade</i>	31
2.4.3	<i>Determinação dos Factores de Emissão</i>	33
2.4.4	<i>Abordagens “de baixo para cima” vs “de cima para baixo”</i>	36
2.4.5	<i>Experiência Internacional</i>	37
3	Metodologia	40
3.1	Introdução	40
3.2	Frota de Veículos	45
3.2.1	<i>Veículos Ligeiros</i>	45
3.2.2	<i>Veículos Pesados</i>	46
3.3	Distâncias Percorridas	48
3.3.1	<i>Auto-estrada</i>	49
3.3.2	<i>Rural e Urbano</i>	52
3.4	Velocidades.....	53

3.5	Consumo de Combustível.....	54
3.5.1	<i>Auto-estrada</i>	54
3.5.2	<i>Rural e Urbano</i>	55
3.6	Ajuste do Consumo de Combustível.....	56
3.7	Dados de Actividade	57
3.8	Factores de Emissão	58
3.8.1	<i>Funções</i>	60
3.8.2	<i>Factores de Emissão a Frio e a Quente</i>	61
3.9	Emissões Evaporativas.....	62
3.10	Alocação Espacial.....	66
3.11	Alocação Temporal	68
4	Resultados e Discussão.....	70
4.1	Dados de Actividade	70
4.1.1	<i>Frota de Veículos</i>	70
4.1.2	<i>Velocidade de Circulação</i>	71
4.1.3	<i>Distâncias Percorridas</i>	71
4.1.4	<i>Consumo de Combustível</i>	76
4.2	Factores de Emissão	85
4.2.1	<i>Dióxido de Carbono</i>	85
4.2.2	<i>Dióxido de Enxofre</i>	85
4.2.3	<i>Factores de Emissão Dependentes do Modo de Circulação</i>	86
4.2.4	<i>Factores de Emissões Evaporativas</i>	89
4.3	Emissões.....	90
4.4	Alocação Espacial.....	95
4.4.1	<i>Auto-estrada</i>	95
4.4.2	<i>Rural</i>	96
4.4.3	<i>Urbano</i>	97
4.5	Alocação Temporal	99
5	Conclusões.....	101

6	Referências	104
7	ANEXOS	109
7.1	Consumo de Combustível (t)	110
7.2	Distância Percorrida (km/veículo)	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Emissões de GEE entre 1990 e 2002 comparando com o percurso linear até 2010 (Fonte: IA, 2004).	3
Figura 2.1 – Caracterização das emissões nacionais de GEE em 1990 (Fonte: IA, 2004).....	6
Figura 2.2 – Caracterização das emissões nacionais de GEE em 2002 (Fonte: IA, 2004).....	6
Figura 2.3 – Relações entre a actividade dos transportes rodoviários e o impacte sobre os diferentes temas ambientais (Fonte: Tchepel, 2003).	9
Figura 2.4 – Emissões de substâncias acidificantes em Portugal (Fonte: IA, 2003).....	11
Figura 2.5 – Número de dias com excedências ao limiar de informação ao público e número de estações com monitorização de ozono troposférico (Fonte: IA, 2003).	12
Figura 2.6 – Taxa de redução de emissões de CO e PM para veículos de passageiros a gasolina (CPG) e veículos de passageiros a gasóleo (CPD) de acordo com a tecnologia (Fonte: Jourard, 1999).	20
Figura 2.7 – Factor de correcção da quilometragem como função velocidade e da quilometragem para as emissões de CO (Fonte: MEET, 1998).....	21
Figura 2.8 – Efeito da temperatura no factor de emissão de NO _x (Sorce: MEET, 1998)	26
Figura 2.9 – Emissões a frio como função da temperatura ambiente para veículos a gasolina equipados com catalisador (Fonte: Jourard, 1999).	28
Figura 2.10 – Ciclo de teste modem.	34
Figura 2.11 – Percentagem das emissões do transporte (incluindo todos os modos) em relação às emissões totais.	39
Figura 2.12 – Percentagem das emissões do transporte rodoviário em relação ao total do sector dos transportes.	39
Figura 3.1 – Esquema geral da metodologia proposta para o cálculo das emissões do transporte rodoviário.	44
Figura 3.2 – Percentagem estimada de autocarros urbanos e regionais.	48
Figura 4.1 – Frota de veículos: 1990-2003.	70

Figura 4.2 – Distâncias percorridas.	72
Figura 4.3 – Quilómetros percorridos por modo de circulação	73
Figura 4.4 – Quilómetros percorridos por tipo de veículo.	75
Figura 4.5 – Quilómetros percorridos por tipo de combustível.	75
Figura 4.6 – Consumo de combustível no sector rodoviário.....	76
Figura 4.7 – Diferença percentual do consumo estimado em relação ao real.	77
Figura 4.8 – Consumo de gasolina estimado e real.....	78
Figura 4.9 – Consumo de gasóleo estimado e real.	79
Figura 4.10 – Eficiência do consumo de combustível.....	80
Figura 4.11 – Distribuição por cilindrada das distâncias percorridas por veículos ligeiros de passageiros a gasolina.	81
Figura 4.12 – Distribuição por cilindrada das distâncias percorridas por veículos ligeiros de passageiros a gasóleo.	82
Figura 4.13 – Factor de consumo de gasolina para veículos ligeiros de passageiros, em modo auto-estrada, com cilindrada compreendida entre 1,4 l e 2,0 l.....	83
Figura 4.14 – Factor de consumo de gasolina para veículos ligeiros de passageiros, em modo rural e urbano, com cilindrada compreendida entre 1,4 l e 2,0 l.....	83
Figura 4.15 – Factores de emissão e de consumo de combustível para veículos ligeiros de passageiros novos a gasolina (em cada ano) com cilindrada 1,4 l < CC < 2,0.....	87
Figura 4.16 – Factores de emissão e de consumo de combustível para veículos ligeiros de passageiros novos a gasóleo (em cada ano) com cilindrada < 2,0 l.....	89
Figura 4.17 – Emissões de GEE estimadas para o sector do transporte rodoviário [1990-2003]...	91
Figura 4.18 – Emissões anuais de gases poluentes estimadas para o sector do transporte rodoviário [1990-2003]	93
Figura 4.19 – Emissões evaporativas.	94
Figura 4.20 – Variação da pressão de vapor.....	94

Figura 4.21 – Percentagem das emissões evaporativas e de escape.	95
Figura 4.22 – Emissões de NO _x realizadas em auto-estrada (com e sem portagem) no ano de 1990 (a) e 2003 (b).	96
Figura 4.23 – Emissões de NO _x realizadas em modo de circulação rural nos anos 1990 (a) e 2003 (b).	97
Figura 4.24 – Emissões de NO _x realizadas em modo de circulação urbano nos anos 1990 (a) e 2003 (b).	98
Figura 4.25 – Emissões de NO _x por unidade de área para o ano de 2003.	99
Figura 4.26 – Variação mensal das emissões do tráfego rodoviário em auto-estrada.	100
Figura 5.1 – Diferença percentual do consumo estimado de gasolina em relação ao real utilizando as metodologias “melhorada” e “simples”.	102
Figura 5.2 – Diferença percentual do consumo estimado de gasóleo em relação ao real utilizando as metodologias “melhorada” e “simples”.	102

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Potenciais de aquecimento global (PAG) (Fonte: IPCC, 1996).....	8
Tabela 2.2 – Factores de ponderação para conversão em equivalente ácido (valores em equivalentes ácido/kg) (Fonte: IA, 2003)	10
Tabela 2.3 – Estimativa de emissões para situações semelhantes de velocidade média (Fonte: André e Hammarstrom, 2000)	17
Tabela 2.4 – Classificação tecnológica de acordo com o ano de construção.	19
Tabela 2.5 – Especificações para a gasolina.....	23
Tabela 2.6 – Especificações para o gasóleo.	23
Tabela 2.7 – Vantagens e desvantagens dos combustíveis alternativos (Fonte: Joumard, 1999).	25
Tabela 2.8 – Percentagem das emissões evaporativas em relação ao total de emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) em 1990 (Fonte: EMEP/CORINAIR, 2002).....	29
Tabela 2.9 – RVP (valores em kPa).....	30
Tabela 2.10 – Ciclo de teste modem.	35
Tabela 2.11 – Exemplos de ciclos de teste utilizados para determinação de factores de emissão para veículos ligeiros de passageiros e mercadorias.	35
Tabela 3.1 – Classes de veículos consideradas.....	42
Tabela 3.2 – Correspondência entre classes de peso de veículos pesados de mercadorias da ACAP e do EMEP/CORINAIR.	46
Tabela 3.3 – Percentagem de veículos pesados de mercadorias por classe de peso.....	47
Tabela 3.4 – Percentagem da frota de veículos pesados por idade.....	47
Tabela 3.5 – Fracção de veículos pesados nas auto-estradas (Fonte: IEP).....	50
Tabela 3.6 – Percentagem da distância percorrida em auto-estrada por tipo de veículo (Fonte: adaptado de Joumard, 1999).	50
Tabela 3.7 – Caracterização do sector dos transportes rodoviário em modo urbano e longa distância (Fonte: DGGE, 1999).....	52

Tabela 3.8 – Velocidade de circulação assumidas no cálculo de emissões.	54
Tabela 3.9 – Valores de r de acordo com o tipo de combustível (Fonte: EMEP/CORINAIR, 2002).	59
Tabela 3.10 – Categorias j de veículos a gasolina.	62
Tabela 3.11 – Temperaturas medias utilizadas no cálculo das emissões evaporativas.	66
Tabela 4.1 – Quilómetros percorridos ($\text{km} \times 10^6$)	74
Tabela 4.2 – Poder calorífico dos combustíveis.	76
Tabela 4.3 – Consumo de gasolina, em l/100km, para veículos ligeiros de passageiros a gasolina para o ano de 2003.	81
Tabela 4.4 – Análise de sensibilidade do parâmetro “l/100km” em função da velocidade média para veículos ligeiros de passageiros em modo urbano, a gasolina, com cilindrada menor que 1,4 cc.	84
Tabela 4.5 – Análise de sensibilidade do parâmetro “l/100km” em função da velocidade média para veículos ligeiros de mercadorias em modo rural, a gasóleo.	85
Tabela 4.6 – Factores de emissão de CO_2	85
Tabela 4.7 – Teor de enxofre dos combustíveis (%) (Fonte: DGGE).	86
Tabela 4.8 – Factores médios de emissões evaporativas (valores em g/veículo/dia)	90
Tabela 4.9 –Emissões de GEE estimadas para o sector do transporte rodoviário [1990-2003]	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Âmbito

Os transportes rodoviários são um elemento fundamental no modo de vida das sociedades permitindo a mobilidade de pessoas e bens. Contudo, da actividade dos transportes rodoviários, e dos transportes em geral, decorre um conjunto de problemas ambientais tais como as alterações climáticas, a acidificação do solo, a degradação da qualidade do ar, ruído, apropriação de terras, segmentação de habitats, entre outros.

Em Portugal, os transportes rodoviários são uma das principais fontes de poluentes atmosféricos, a seguir à produção de electricidade, e é um sector que regista uma das maiores tendências de crescimento. Entre 1990 e 2003 o potencial de aquecimento global, dado em massa emitida de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{eq.}$), aumentou cerca de 104% como constata o mais recente Relatório do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR) do Instituto do Ambiente (IA, 2004).

Ao ratificar o Protocolo de Quioto, Portugal assumiu o compromisso de restringir as suas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em 2010 para mais 27% do valor registado em 1990. Considerando um percurso linear desde as emissões em 1990, ao alvo em 2020, verifica-se que em 2002 as emissões de Portugal ultrapassam este percurso em 24,3% (ver Figura 1.1).

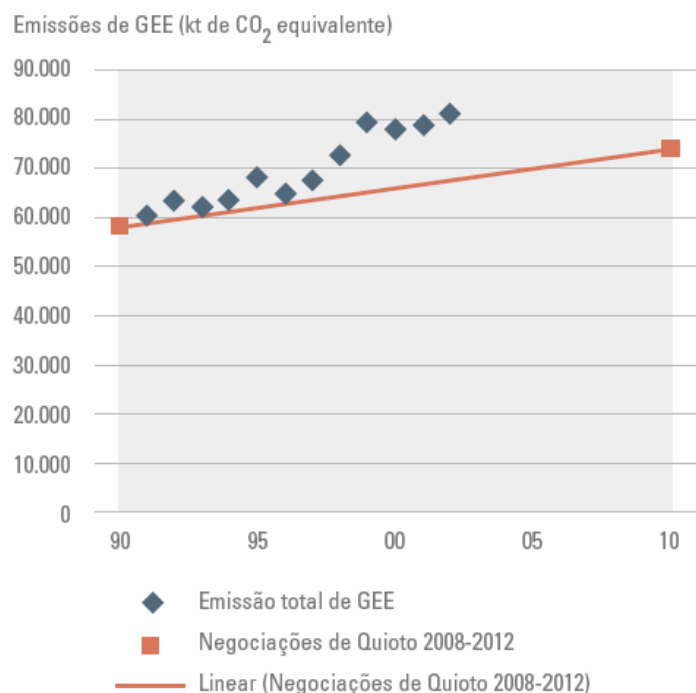


Figura 1.1 – Emissões de GEE entre 1990 e 2002 comparando com o percurso linear até 2010 (Fonte: IA, 2004).

Perante este cenário, o controlo das emissões de GEE torna-se uma prioridade para o cumprimento do objectivo proposto por Quioto em 2010.

O controlo das emissões de GEE, e de gases poluentes em geral, passa obrigatoriamente pelo desenvolvimento de um inventário nacional de emissões que permita fornecer informação do panorama das emissões no país e com o qual possam ser tomadas decisões sobre quanto e onde reduzir.

De acordo com a Convenção para as Alterações Climáticas das Nações Unidas, os sectores de actividade mais importantes em termos de quantidades emitidas de GEE devem ser considerados prioritários e sobre os quais devem ser feitos esforços para o desenvolvimento de metodologias para a determinação mais exacta de emissões. Daqui surge a motivação para a realização do presente estudo no qual é proposta uma metodologia que permite a obtenção de um inventário nacional detalhado para os transportes rodoviários no qual se encontrem bem discriminados todos os sub-sectoros que o compõem. Esta metodologia para inventário de emissões deverá contemplar os poluentes abrangidos pela Convenção para as Alterações Climáticas das Nações Unidas, pela Convenção para o Transporte de Poluentes a Longa Distância da Comissão Económica para a Europa e pela Directiva Europeia sobre os Tectos Nacionais de Emissão.

Desta forma podem ser estudadas e desenvolvidas medidas para áreas particulares do sector rodoviário. Por outro lado, sendo os inventários de emissões uma variável crucial nos modelos de previsão de qualidade do ar, é fundamental possuir um inventário de emissão detalhado e exacto de modo a obter resultados fiáveis de concentrações de poluentes no ambiente atmosférico.

Este estudo foi realizado com o apoio do Instituto do Ambiente através de um protocolo estabelecido com o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Os resultados obtidos podem ser utilizados na submissão de emissões nacionais no âmbito dos acordos internacionais tais como:

- Protocolo de Quioto da Convenção para as Alterações Climáticas das Nações Unidas;
- Convenção para o Transporte de Poluentes a Longa Distância (CLRTAP) da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas (UNECE);
- Directiva Europeia 2001/81/EC sobre os Tectos Nacionais de Emissão.

As submissões de emissões no âmbito dos acordos internacionais são coordenados pelo Instituto do Ambiente de acordo com as suas competências como entidade nacional.

1.2 Objectivos

Como objectivo geral, este estudo pretende melhorar a metodologia de cálculo de emissões do transporte rodoviário tal como recomendado pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas das Nações Unidas para os sectores-chave em termos de emissão de GEE¹. Em particular, este estudo aponta no sentido de desenvolver uma metodologia específica para a estimativa de emissões de gases poluentes do sector do transporte rodoviário em Portugal que:

- Responda aos requisitos da Convenção para as Alterações Climáticas das Nações Unidas sobre inventários de emissões de GEE (UNFCCC);
- Responda aos requisitos da Convenção para o Transporte de Poluentes a Longa Distância (CLRTAP) da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas (UNECE);

¹ O conceito de sectores-chave surgiu no documento *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* como forma de definir prioridades no processo de desenvolvimento dos inventários de emissão (IPCC, 2000).

- Responda aos requisitos da Directiva Europeia 2001/81/EC sobre os Tectos Nacionais de Emissão;
- Possa ser utilizada na projecção de emissões de gases poluentes;
- Possa ser utilizada para a avaliação de medidas que visem a redução de emissões poluentes no âmbito dos planos de redução referidos nas directivas europeias sobre qualidade do ar;
- Responda aos requisitos dos modelos de qualidade do ar.

A metodologia proposta baseia-se na aplicação de uma abordagem combinada “de baixo para cima” (vulgarmente conhecida como *bottom-up approach*), na qual são utilizadas variáveis de entrada com um alto nível de desagregação como sejam a frota de veículos ou quilómetros percorridos, e “de cima para baixo” (ou *top-down approach*), para garantir que as estimativas do consumo de combustível igualem o consumo de combustível real estabelecido nas estatísticas da Direcção-Geral de Geologia e Energia.

Este trabalho congrega um conjunto de informação dispersa por diversos organismos com responsabilidades no sector dos transportes rodoviários tornando a informação consistente como recomendado pelo guia de boas práticas do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas.

2 O SECTOR DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO

2.1 Conceitos Gerais

O sector dos transportes rodoviários é um sector-chave em termos de emissões de gases poluentes representando um dos sectores que regista mais emissões e no qual se verificou um crescimento acentuado desde 1990 (Figura 2.1 e Figura 2.2).

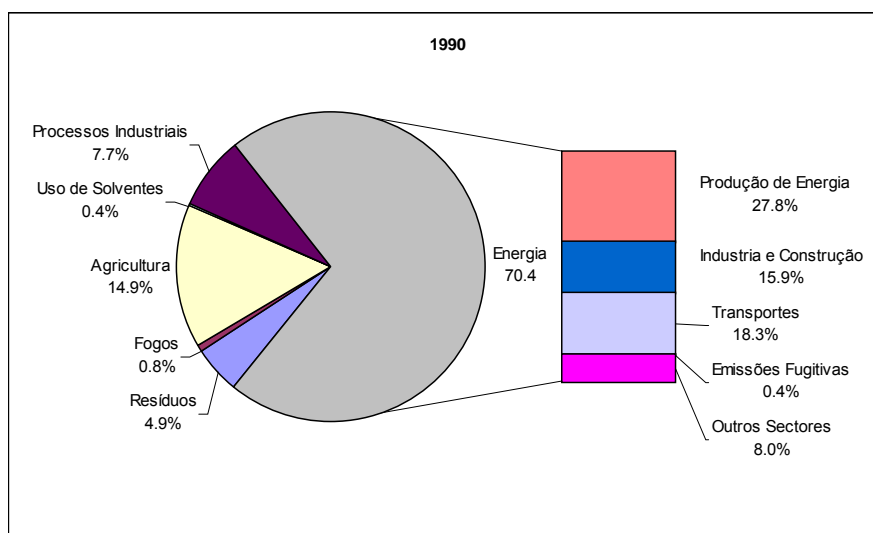


Figura 2.1 – Caracterização das emissões nacionais de GEE em 1990 (Fonte: IA, 2004).

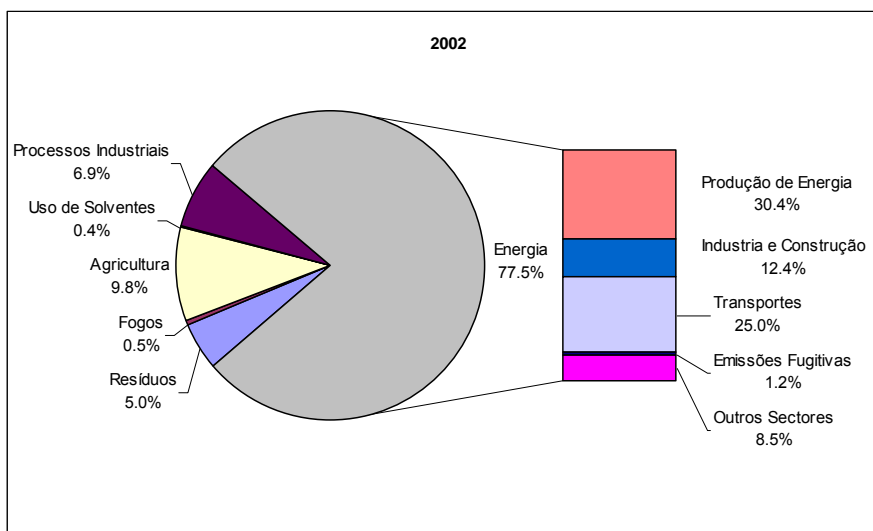


Figura 2.2 – Caracterização das emissões nacionais de GEE em 2002 (Fonte: IA, 2004).

Os transportes rodoviários são uma das principais fontes de emissão de GEE tais como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Contribui também com emissões significativas de poluentes como os óxidos de enxofre (SO_x), os óxidos de azoto (NO_x), os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM) e as partículas em suspensão (PM), responsáveis por múltiplos impactes ambientais a nível trans-fronteiriço, regional (EMEP, 2004) e local (Ferreira *et al.*, 2002). São também responsáveis pela formação de ozono troposférico por emitirem substâncias precursoras de ozono (Sillman, 1999; Seinfeld e Pandis, 1998). Desta actividade resultam ainda emissões substanciais de amónia (NH₃), e partículas contendo metais pesados.

Os diversos gases com efeito de estufa possuem diferentes graus de intensidade no aquecimento global. O Potencial de Aquecimento Global (PAG) é um indicador que fornece informação em relação ao poder radiativo relativo de cada um dos gases com efeito de estufa. O indicador define-se como a capacidade radiativa num determinado horizonte temporal para uma unidade de massa de gás emitido, expresso em massa de CO₂ equivalente (CO₂eq.). A necessidade de definir um horizonte temporal prende-se com os diferentes tempos de vida de cada um dos gases na atmosfera. As emissões agregadas de CO₂eq. são calculadas somando a massa de cada um dos gases emitidos multiplicada pelo respectivo PAG.

$$CO_2eq. = \sum_i [M_i \times PAG_i]$$

Equação 2.1

Onde:

M_i - massa emitida de poluente i;

PAG_i – potencial de aquecimento global do poluente i.

i – poluente.

O PAG dos gases é actualizado à medida que vai aumentando o conhecimento sobre a influência destes no aquecimento global. De acordo com o Protocolo de Quito e com os requisitos para submissão de inventários de emissão da UNFCCC, a agregação de emissões de gases com efeito de estufa em CO₂eq. deve ser efectuada utilizando os potenciais de aquecimento global para um horizonte temporal de 100 anos. Os potenciais de aquecimento global de cada um dos GEE num horizonte temporal de 100 anos encontram-se expressos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Potenciais de aquecimento global (PAG) (Fonte: IPCC, 1996).

GEE	PAG
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC	
HFC-23	11 700
HFC-32	650
HFC-41	150
HFC-43-10mee	1 300
HFC-125	2 800
HFC-134	1 000
HFC-134a	1 300
HFC-152a	140
HFC-143	300
HFC-143a	3 800
HFC-227ea	2 900
HFC-236fa	6 300
HFC-245ca	560
PFC	
CF ₄	6 500
C ₂ F ₆	9 200
SF ₆	23 900

2.2 Transportes Rodoviários, Alterações Climáticas e Qualidade do Ar

A relação entre a actividade dos transportes rodoviários e os impactes ambientais sobre a qualidade do ar encontra-se estabelecida em diversos estudos científicos. Por exemplo, Colville *et al.*, 2001, resume os impactes ambientais provocados pela actividade dos transportes desde a escala das alterações climáticas até aos problemas locais de qualidade do ar, referindo para cada uma das escalas a necessidade de implementar políticas que visem a redução de emissões de gases poluentes.

Tchepel, 2003, sugere quatro temas ambientais sobre os quais a actividade dos transportes produz impactes negativos:

- alterações climáticas;
- ozono troposférico;
- acidificação;
- exposição da população a poluentes atmosféricos.

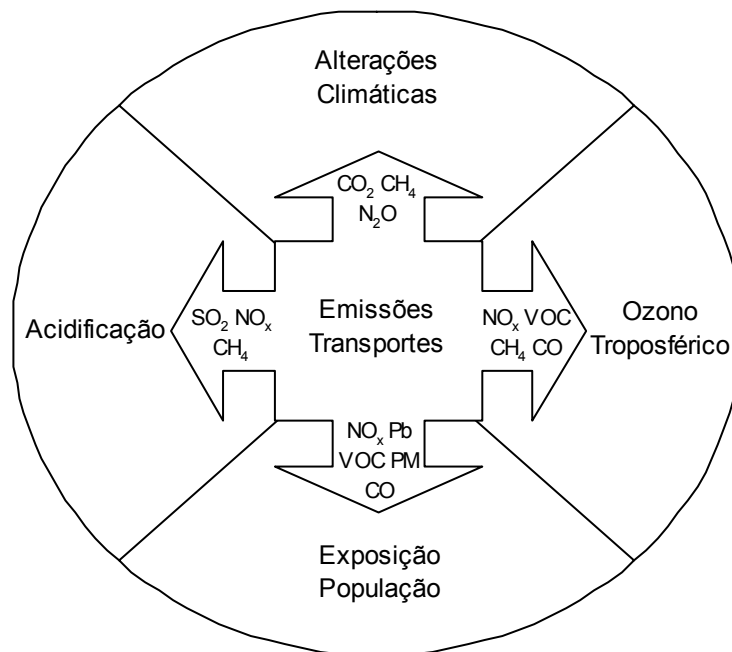


Figura 2.3 – Relações entre a actividade dos transportes rodoviários e o impacto sobre os diferentes temas ambientais (Fonte: Tchepel, 2003).

2.2.1 Alterações Climáticas

As emissões de gases provenientes da actividade do transporte resultam da combustão no interior dos motores dos veículos. Sendo a combustão incompleta, geram-se emissões de gases, tais como o CH_4 e o N_2O , para além do CO_2 e do vapor de água. Estes gases fixam a radiação infra-vermelha proveniente da superfície terrestre aumentando o efeito de estufa. As emissões de N_2O resultantes da combustão ocorrem em pequenas quantidades, no entanto, nos veículos equipados com catalisador, as emissões de N_2O são mais abundantes (Colville et al., 2001).

Os efeitos das alterações climáticas fazem-se sentir em inúmeros sistemas físicos e biológicos de diversas partes do mundo, designadamente, diminuição do volume dos glaciares, descongelamento do *permafrost*², diminuição do período no qual a superfície dos lagos e rios permanece congelada, mudanças nas características das estações do ano, alterações das zonas de habitats de animais e plantas, declínio de populações de animais e plantas e, por fim, a antecipação do período de floração das árvores, de ascensão de insectos e de postura de ovos das aves. (IPCC, 2001).

² Substrato que permanece com temperaturas inferiores a 0 °C por durante pelo menos dois anos consecutivos

2.2.2 Qualidade do Ar

2.2.2.1 Acidificação

A acidificação é o processo através do qual os poluentes atmosféricos – principalmente amónia, dióxido de enxofre e óxidos de azoto – são convertidos em substâncias ácidas tais como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou o ácido nítrico (HNO_3), que se depositam na superfície terrestre por meio de dois mecanismos: deposição seca e deposição húmida (chuva ácida). A acidificação provoca desflorestação e acidificação das superfícies de água como sejam as albufeiras e os lagos.

Svante Odén foi o cientista sueco que em 1967 alertou para o problema da acidificação mostrando que o aumento da acidez da chuva se relacionava com o padrão de emissões de dióxido de enxofre na Europa (EMEP, 2004).

Contudo, as emissões de compostos acidificantes têm vindo diminuir a nível europeu reflectindo os resultados de programas de monitorização e controlo de emissões no âmbito da Convenção sobre a Poluição Atmosférica a Longa Distância (CLRTAP) da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas (1979) dos quais se destaca o programa de vigilância dos poluentes atmosféricos a longa distância na Europa (programa EMEP), em vigor desde 28 de Janeiro de 1988. Desde o início programa EMEP, as emissões de SO_2 na Europa foram reduzidas em cerca de 50% o que se traduz em efeitos claros na diminuição da deposição de compostos oxidados de enxofre e na diminuição das concentrações de SO_2 na atmosfera.

Em Portugal não se verifica uma tendência evidente na diminuição as emissões de substâncias acidificantes como se pode verificar na Figura 2.4. As emissões de substâncias acidificantes são agregadas no indicador “equivalente ácido” que pondera a capacidade de cada poluente formar uma substância acidificante.

Tabela 2.2 – Factores de ponderação para conversão em equivalente ácido (valores em equivalentes ácido/kg) (Fonte: IA, 2003)

SO_2 : 31,25	NO_x : 21,74	NH_3 : 58,82
-----------------------	-----------------------	-----------------------

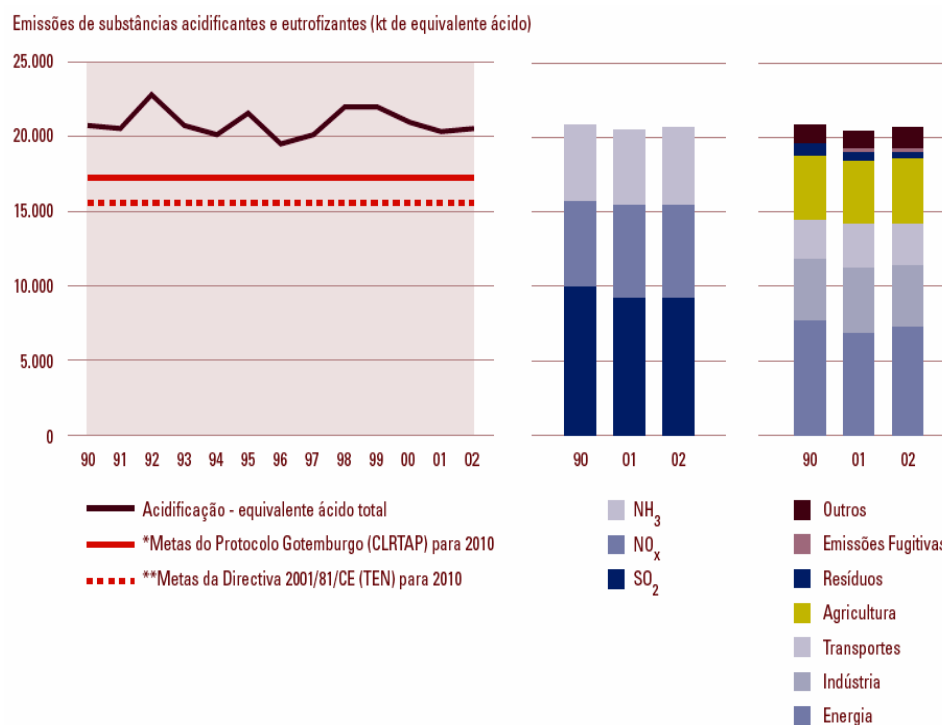


Figura 2.4 – Emissões de substâncias acidificantes em Portugal (Fonte: IA, 2003)

2.2.2.2 Ozono Troposférico

O ozono troposférico é considerado um poluente secundário dado que não é directamente emitido por uma fonte. O ozono forma-se a partir de luz solar e poluentes precursores de ozono tais como o NO_x, COV, CH₄ e CO. Os veículos motorizados são os principais responsáveis pela emissão de NO_x e COV que contribuem para a formação de ozono a nível regional (Tchepele, 2003).

O ozono troposférico é um dos poluentes mais preocupantes a nível Europeu. As concentrações de ozono continuam a ultrapassar os valores limites estabelecidos na legislação europeia para protecção da saúde humana e dos ecossistemas.

A regulação das concentrações de ozono troposférico é feita pela Directiva 92/72/EEC segundo a qual os estados membros têm de informar o público para que este tome medidas de protecção quando a concentração horária de ozono excede o limiar de informação de 180 µg/m³ ou o limiar de alerta de 360 µg/m³. A Directiva 92/72/EEC foi substituída pela nova directiva do ozono – Directiva 2002/3/EC – transposta para a legislação nacional através do Decreto-lei n.º 320/2003. Nesta nova legislação, mantém-se o valor do limiar de informação, passando o limiar de alerta para 240 µg/m³, medido durante uma hora.

No Verão de 2003, o número de horas em que foram registadas concentrações de ozono superiores ao limiar de informação de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi, na região da União Europeia (UE-15), o mais elevado dos últimos 12 anos (EEA, 2003).

Em Portugal, registaram-se em 2003 o maior número dias com excedências ao limiar de informação ao público, reflectindo as temperaturas elevadas no período do Verão de 2003 e o maior número de estações com equipamento para monitorização de ozono (IA, 2003).

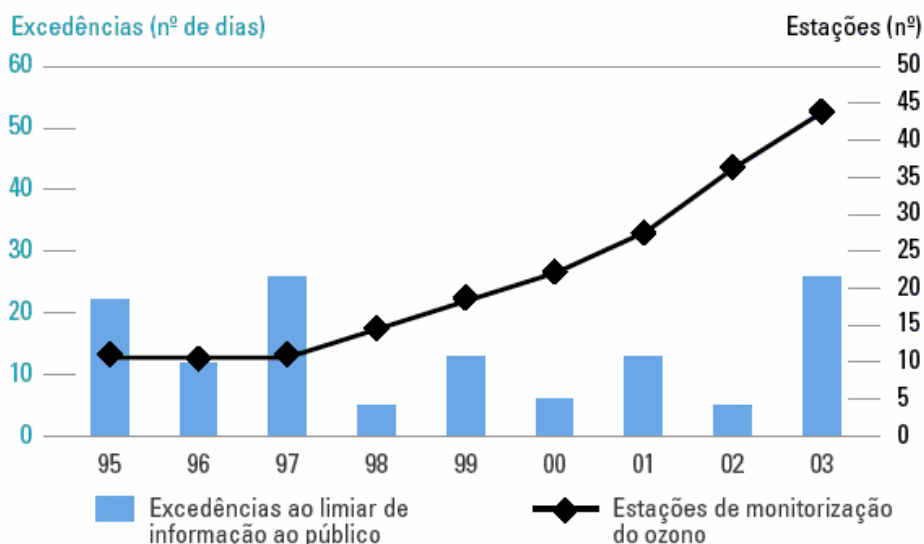


Figura 2.5 – Número de dias com excedências ao limiar de informação ao público e número de estações com monitorização de ozono troposférico (Fonte: IA, 2003).

Apesar do sector dos transportes ser o maior contribuinte de emissões de poluentes precursores de ozono, a variação do número de excedências ao limiar de informação não pode ser apenas explicada pelas emissões do sector rodoviário uma vez que estas têm vindo a decrescer gradualmente entre 1990 e 2000 na região UE-15. Se as alterações climáticas tiverem como consequência Verões mais quentes na Europa, serão esperadas mais excedências ao limiar de informação para o nível de emissões actual dada a relação entre a temperatura e o número de excedências (EEA, 2003).

2.2.2.3 Exposição da População

As emissões de poluentes atmosféricos provenientes da actividade dos transportes rodoviários são responsáveis por impactes ao nível da saúde humana que se fazem sentir sobretudo em áreas densamente povoadas onde ocorrem simultaneamente níveis elevados de tráfego rodoviário. Os poluentes atmosféricos com impacte sobre a saúde humana tais como o CO, PM, NO_x e COV, resultam da combustão nos motores dos veículos, da evaporação do combustível e da erosão provocada pela circulação dos veículos.

A combustão no interior dos motores dos veículos é uma combustão incompleta. A eficiência da combustão pode ser melhorada através da introdução de excesso de ar na câmara de combustão, tal como acontece nos motores a gasóleo ou nos motores a gasolina, através do controlo da razão entre a quantidade de combustível e a quantidade de ar de modo a manter as condições estequiométricas correctas.

Parte do combustível utilizado é oxidado em CO sendo emitido em forma de gás tal como alguns hidrocarbonetos voláteis. São também emitidos compostos de carbono provenientes da combustão incompleta de gotículas de combustível. Existe um conjunto de outros compostos com baixa pressão de vapor, tais como o vanádio e outros metais pesados, que são emitidos e contribuem para a formação posterior de partículas atmosféricas. As partículas emitidas pelos escapes dos veículos resultam também de compostos orgânicos contendo chumbo, ainda utilizado como aditivo para gasolinas com elevado índice de octanas para prevenir a sua combustão prematura em regiões da Ásia e da África (Colville *et al.*, 2001).

Como resultado da combustão a altas temperaturas, o azoto molecular (N_2) é oxidado formando-se NO e pequenas quantidades de NO_2 que são libertados sob forma de gases nos escapes dos veículos.

Os transportes rodoviários são ainda responsáveis pela emissão de partículas com efeito sobre a saúde humana e que resultam, não da combustão, mas sim do desgaste dos travões, pneus e suspensões e da abrasão da via de circulação.

O transporte rodoviário pode ser considerado a principal fonte de emissões com impacto sobre a saúde humana dado que as emissões são libertadas muito próximo dos receptores humanos (Colville *et al.*, 2001). De acordo com as estimativas da Organização Mundial de Saúde (OMS), a exposição prolongada à poluição atmosférica proveniente dos transportes rodoviários é responsável por cerca 80000 mortes na Europa. Além dos condutores profissionais e dos indivíduos que trabalham na estrada, as crianças e os idosos são os que correm mais riscos de impacto sobre a saúde (WHO, 2003).

A relação entre a poluição atmosférica e os impactos negativos sobre a saúde humana é um tema de investigação sobre o qual se debruçam diversos cientistas. Vários estudos podem ser encontrados na bibliografia (ver por exemplo: USEPA, 1990; Anderson *et al.*, 1997; Chan *et al.*, 1991; Dockery *et al.*, 1992 e outros).

2.3 Factores que Influenciam as Emissões

2.3.1 Funções

As emissões de escape produzidas por um veículo rodoviário dependem de um conjunto de factores sendo os mais importantes:

- o tipo de veículo;
- a cilindrada e o peso do veículo;
- a idade e o estado do motor do veículo;
- as condições dos sistemas de controlo de poluição (por exemplo, o catalisador) e;
- as condições de circulação do veículo.

A maior ou menor importância destes factores para as emissões depende do comportamento macroscópico do tráfego que pode ser traduzido em variáveis tais como a composição da frota de veículos, a velocidade média de circulação ou a densidade de tráfego. O comportamento macroscópico do tráfego é influenciado por sistemas e por procedimentos de gestão de tráfego (Joumard *et al.*, 1995).

Neste capítulo pretende-se avaliar quais as variáveis com maior influência sobre as emissões de poluentes atmosféricos e de que modo variam as emissões com a alteração dessas variáveis.

2.3.1.1 Velocidade

As emissões são normalmente designadas em função da velocidade e da aceleração dos veículos (ver Figura 2.1 e Figura 2.2). Para a estimativa de emissões é fundamental um conhecimento aprofundado das velocidades de circulação. O tipo de veículo e a sua velocidade são parâmetros decisivos na estimativa de emissões. Por exemplo, para veículos de passageiros a gasolina, o consumo de combustível decresce quando a velocidade aumenta dos 0 para os 50 ou 70 km/h e aumenta de uma forma exponencial com o aumento da velocidade a partir destes valores (Figura 2.2).

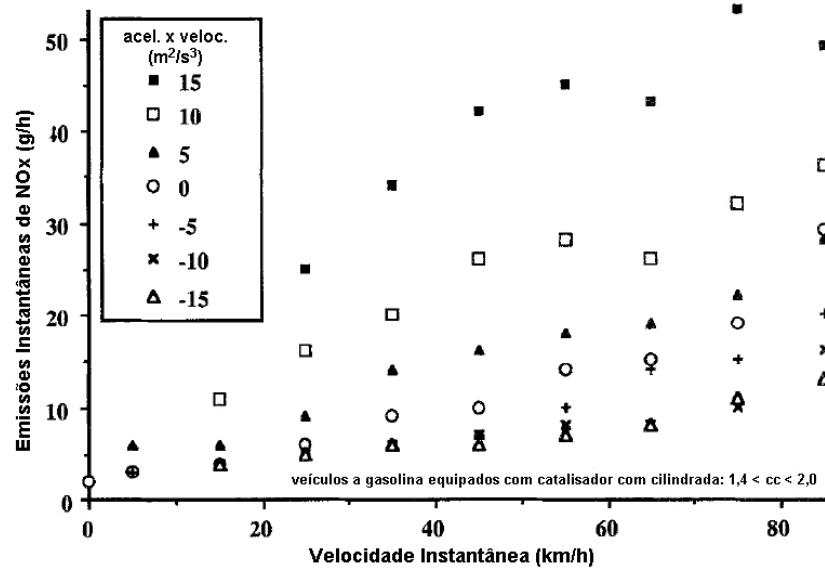


Figura 2.1 – Relação entre a velocidade e a aceleração e as emissões instantâneas de NO_x para veículos a gasolina equipados com catalisador e com cilindrada entre 1,4 e 2,1 cc (Fonte: Joumard, 1995).

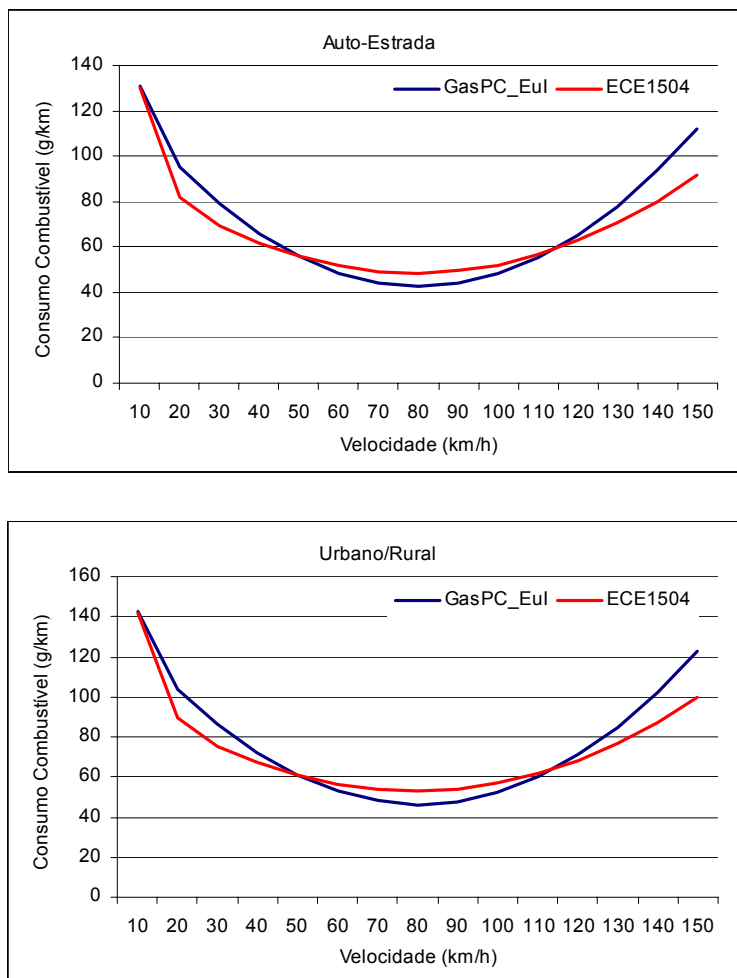


Figura 2.2 – Factores de consumo como função das condições de circulação e da tecnologia do veículo. Exemplo para veículos de passageiros a gasolina com cilindrada 1,4l<cc<2,0l com tecnologias ECE15/04 (ECE1504) e EURO I (GasPC-EuI) (EMEP, 2002).

A determinação das emissões específicas são obtidas a partir de um ciclo de teste efectuado em laboratório ao qual é sujeito o veículo. As emissões, medidas como função da velocidade média do ciclo, revelam uma dependência evidente da velocidade (André e Hammarstrom, 2000; Ntziachristos e Samaras, 2000).

No entanto, para uma mesma velocidade média de 40km/h, podem ser obtidas quantidades de emissão muito diferentes. Veja-se por exemplo os seguintes exemplos de percursos:

- 100 km percorridos a 40 km/h;
- 25 km percorridos a 20 km/h juntamente com 75 km percorridos a 60 km/h.

Apesar de a velocidade média ser a mesma, 40 km/h, as emissões resultantes de cada um dos exemplos anteriores será muito diferente.

Na Tabela 2.3 apresentam-se as emissões de CO e o consumo de combustível relativos a veículos EURO I para velocidades médias de 40 km/h (Caso 1) e 80 km/h (Caso 2). Foram testadas duas condições de circulação – (a) e (b) – para cada uma das velocidades médias dos Casos 1 e 2. Para o Caso 1, a condição de circulação (a) leva a uma emissão de monóxido de carbono 17% superior relativamente à emissão obtida para a condição de circulação (b). Relativamente ao consumo de combustível o aumento registado foi de 10%.

Tabela 2.3 – Estimativa de emissões para situações semelhantes de velocidade média (Fonte: André e Hammarstrom, 2000)

	Condições de Circulação	Emissões de CO (g)	Consumo de Combustível (g)
Caso 1	(a) 100 km a 40 km/h	258	6590
	(b) 25 km a 20 km/h + 75km at 60 km/h	221	6000
	Variação (a)-(b) (em %)	17	10
Caso 2	(a) 100 km a 80 km/h	108	4250
	(b) 25 km a 50 km/h + 75 km a 100 km/h	222	5000
	Variação (a)-(b) (em %)	-52	-15

Nota: Emissões para veículos a gasolina com tecnologia Euro I e cilindrada entre 1.4 e 2.0 cc.

Apesar das diferenças, a velocidade média é o parâmetro de velocidade normalmente utilizado para a estimativa de emissões dos transportes rodoviários. A metodologia para a obtenção da emissão como função da velocidade média baseia-se na agregação de emissões para um conjunto de perfis de circulação para os quais é definida uma velocidade média representativa. Jourmard et al, 1999, considera que os factores de emissão como função da velocidade média permitem obter emissões com grau de exactidão suficiente na maior parte dos casos.

As velocidades médias de circulação podem ser obtidas recorrendo a medições e a inquéritos. Os inquéritos podem servir para estabelecer matrizes de origem/destino que por sua vez podem ser utilizados em modelos de tráfego. Vários exemplos de aplicação podem ser encontrados na bibliografia (Axhausen, 1995; Henscher *et al.*, 1995; Stopher e Lee-Gosselin, 1996, Borrego *et al.*, 2004, etc). Os estudos recorrendo a inquéritos são normalmente utilizados como fonte de informação complementar às medições de velocidade (André e Hammarstrom, 2000).

2.3.1.2 Tecnologia dos Veículos

O controlo das emissões de veículos de passageiros foi regulamentado a nível Europeu no princípio dos anos 70. Só muito mais tarde, com a introdução da Directiva Europeia (93/59/EEC), foram regulamentadas as emissões de veículos ligeiros de mercadorias tendo sido estabelecidos valores limite para as emissões de CO, NO_x, HC e PM (apenas para veículos a gasóleo).

O cumprimento das normas de emissão levou os construtores de veículos a implementarem sistemas de controlo de emissões. Hoje em dia, todos os veículos a gasolina são equipados com catalisadores de três vias e desenvolvimentos semelhantes têm vindo a ser realizados nos veículos a gasóleo (Colvile *et al.*, 2001; Daimler Chrysler, 2005; Chan *et al.*, 2004).

A classificação tecnológica depende do nível de emissões do veículo. Para cada tecnologia (EURO I, EURO II, etc.) encontram-se estabelecidos os valores limite e os procedimentos para medição das emissões. Deste modo a classificação tecnológica de um veículo é aquela onde as emissões não ultrapassam os valores limite estabelecidos. Por exemplo, um veículo é EURO I caso as suas emissões não ultrapassem os valores limite de emissão estabelecidos na Directiva 91/441/EEC.

A tecnologia definida pelas directivas europeias é estabelecida para as diferentes classes de veículos (EMEP/CORINAIR, 2002) e pode ser determinada como função do ano de construção do veículo. Na Tabela 2.4 apresentam-se as tecnologias consideradas de acordo com o ano de construção para cada uma das classes de veículos.

Tabela 2.4 – Classificação tecnológica de acordo com o ano de construção.

Categoria Veículo	Legislação	Ano Fabrico	
		de	a
Ligeiros de Passageiros	PRE ECE	...	1971
	ECE 15/00-01	1972	1977
	ECE 15/02	1978	1980
	ECE 15/03	1981	1985
	ECE 15/04	1986	1991
	Euro I	1992	1996
	Euro II	1997	2000
	Euro III	2001	2004
	Euro IV	2005	...
Ligeiros de Mercadorias	Conv	...	1991
	Euro I	1992	1997
	Euro II	1998	2001
	Euro III	2002	2006
	Euro IV	2006	...
Pesados de Mercadorias	Conv	...	1991
	Euro I	1992	1995
	Euro II	1996	2000
	Euro III	2001	2005
	Euro IV	2006	2008
	Euro V	2009	...
Ciclomotores	Conv	...	1999
	97/24/EC Stage I	2000	2003
	97/24/EC Stage II	2004	...
Motos	Conv	...	1999
	97/24/EC	2000	...

À medida que a tecnologia dos veículos evolui as emissões da generalidade dos poluentes diminui. Veja-se, por exemplo, a taxa de redução das emissões médias de CO e PM das tecnologias EURO I a EURO IV para veículos de passageiros a gasolina e a gasóleo (Figura 2.6).

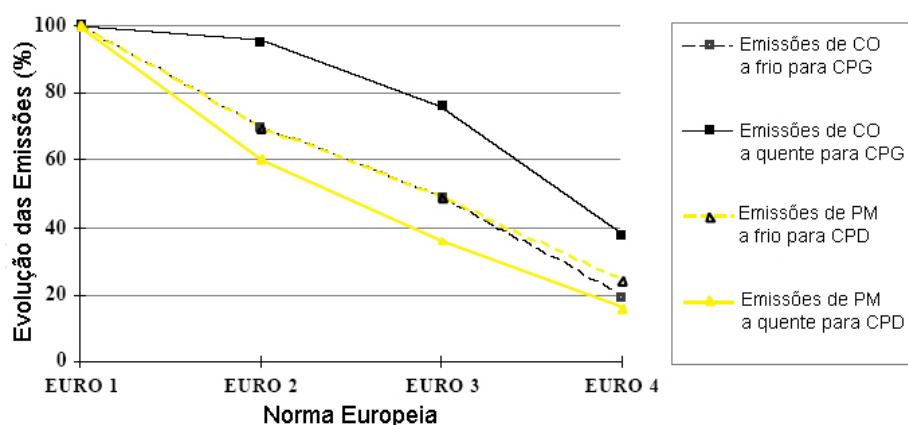


Figura 2.6 – Taxa de redução de emissões de CO e PM para veículos de passageiros a gasolina (CPG) e veículos de passageiros a gasóleo (CPD) de acordo com a tecnologia (Fonte: Joumard, 1999).

2.3.1.3 Quilometragem

As emissões de poluentes são influenciadas de forma significativa pela quilometragem dos veículos (MEET, 1998). As emissões médias entre veículos com diferentes quilometragens podem chegar a diferir até um factor de cinco (Joumard, 1999).

A taxa de incremento das emissões devida à quilometragem varia também com a velocidade de circulação. Deste modo, as emissões devem ser corrigidas utilizando um factor que integre a quilometragem e a velocidade, simultaneamente.

A partir de uma determinada quilometragem a taxa de incremento das emissões tende a estabilizar. A metodologia europeia para o cálculo de emissões – EMEP/CORINAIR – sugere 120 mil quilómetros como a quilometragem a partir da qual a taxa de incremento de emissões estabiliza. Estima-se que para veículos com quilometragem superior a 120 mil quilómetros as emissões sejam três vezes superiores quando comparadas com as emissões calculadas sem a influência da quilometragem (Ntziachristos e Samaras em Joumard, 1999).

A correcção das emissões é efectuada de acordo com classes de quilometragem para as quais são estimados factores de correcção que integram também o efeito da velocidade de circulação. Na Figura 2.7 apresenta-se um exemplo do efeito combinado da quilometragem e da velocidade na emissão de CO para veículos de passageiros a gasolina com cilindrada inferior a 1,4 cc. Esta informação decorre dos resultados dos ciclos de testes de veículos em meio urbano (UDC) e em meio extra-urbano (EUDC) (ver Tabela 2.11 para mais exemplos de ciclos de teste).

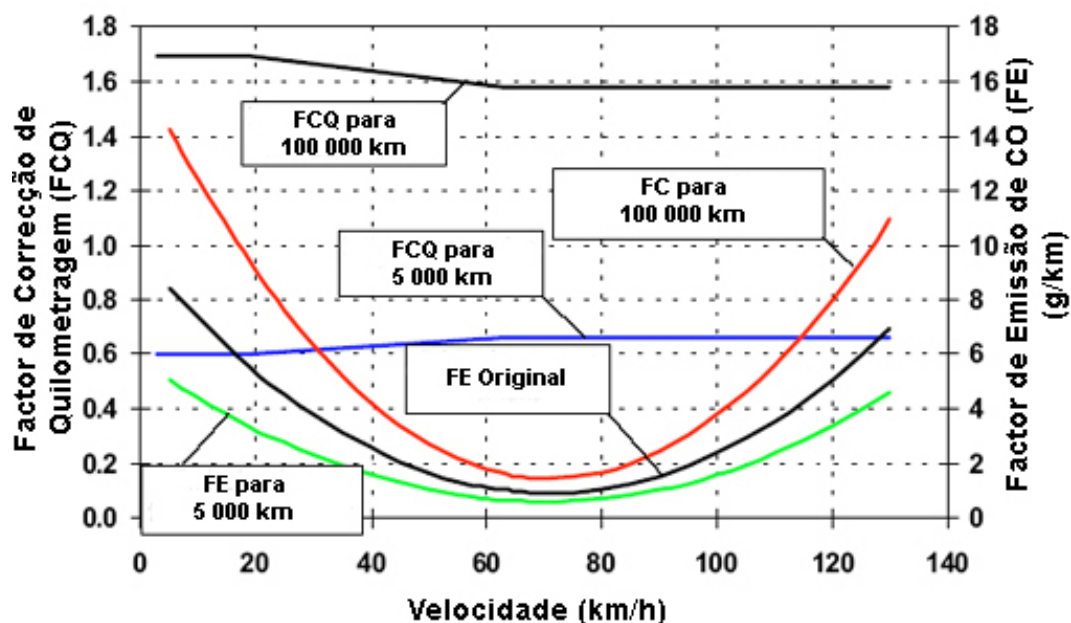


Figura 2.7 – Factor de correcção da quilometragem como função velocidade e da quilometragem para as emissões de CO (Fonte: MEET, 1998).

2.3.1.4 Declive da Rodovia

O declive da rodovia é um factor que afecta as emissões dos veículos podendo o resultado ser uma diminuição ou um aumento das emissões conforme a necessidade potência. O efeito do declive faz-se sentir sobretudo nos veículos pesados de mercadorias³.

O balanço entre o excesso de emissões que ocorre durante a subida de uma via inclinada e a redução de emissões que ocorrem na descida não é nulo. Daí que mesmo em aplicações de larga escala, como por exemplo a estimativa de emissões a nível nacional ou regional, o efeito de declive deve ser considerado (EMEP/CORINAIR, 2002).

Os factores de correcção das emissões que decorrem do efeito do declive variam de acordo com os seguintes parâmetros:

- Peso do veículo;
- Declive da via;
- Poluente;

³ O efeito do declive da via nos veículos ligeiros de mercadorias é pouco significativo (Keller et al., 1995). Assim sendo, o efeito do declive deve ser estimado apenas para os veículos pesados de mercadorias.

- Combustível;
- Velocidade média de circulação.

2.3.1.5 Tipo de Combustível

2.3.1.5.1 Combustíveis Convencionais

A redução das emissões poluentes podem ser alcançadas quer pela melhoria da tecnologia dos veículos quer pela melhoria dos combustíveis utilizados. As especificações dos combustíveis encontram-se regulamentadas a nível europeu. O programa *Auto-Oil*⁴ regula os combustíveis obrigando a que estes cumpram determinadas especificações. A melhoria dos combustíveis prevista pelo programa *Auto-Oil* prevê duas metas distintas:

- *Fuel 2000*: especificações para combustíveis a serem implementadas até Janeiro de 2000;
- *Fuel 2005*: especificações para combustíveis a serem implementadas até Janeiro de 2005.

O efeito combinado da melhoria da tecnologia e da melhoria dos combustíveis permite aos veículos cumprirem as normas de emissões europeias. Por exemplo, os limites de emissão estabelecidos para a tecnologia EURO III (introduzidos em 2001) são alcançados com a utilização de combustível com especificações *Fuel 2000* e; os limites da tecnologia EURO IV e EURO V são alcançados com combustível *Fuel 2005* (EMEP/CORINAIR, 2002).

No âmbito do programa *Auto-oil* foi redigida a Directiva Europeia 98/70/CE relativa à qualidade da gasolina e do combustível para motores diesel. As especificações encontram-se presentes nas Tabela 2.5 para a gasolina e na Tabela 2.6 para o gasóleo.

⁴ O Programa *Auto-Oil* define objectivos de redução de emissões e de consumo de combustível para os automóveis. A implementação deste programa pretende atingir em 2010 um factor de emissão médio de CO₂ de 140 g/km. O programa decorre de um acordo voluntário entre as associações de comerciantes de automóveis (ACEA, JAM e KAMA) e a União Europeia.

Tabela 2.5 – Especificações para a gasolina.

Parâmetro	Janeiro 2000	Janeiro 2005
Enxofre (ppm)	150	50
RVP (kPa)	60,0 (Verão)	60,0 (Verão)
Aromáticos (% v/v)	42,0	35,0
Benzeno (% v/v)	1,0	1,0
Oxigênio (% m/m)	2,7	2,7
Olefinas (% v/v)	18,0	18,0
E100 (% v/v) ⁵	46,0	46,0
E150 (% v/v) ⁶	75,0	75,0
Chumbo (g/l)	0,005	0,005

Tabela 2.6 – Especificações para o gasóleo.

Parâmetro	Janeiro 2000	Janeiro 2005
Índice de cetano	51	51
Densidade a 15°C (kg/m ³)	845	845
T ₉₅ (°C) ⁷	360	320
PAH (% m/m)	11	11
Enxofre (ppm)	350	10

As especificações dos combustíveis foram transpostas para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 104/2000.

⁵ Percentagem evaporada na destilação a 100 °C.

⁶ Percentagem evaporada na destilação a 150 °C.

⁷ Temperatura para a qual são recuperados 95% do volume de combustível.

2.3.1.5.2 Combustíveis Alternativos

Os combustíveis alternativos, tais como o gás natural, o álcool, o gás de petróleo liquefeito (GPL) ou o biodiesel, podem contribuir significativamente para a redução das emissões dos transportes rodoviários. Apesar deste estudo incidir sobre as emissões que resultam sobretudo da utilização de combustíveis convencionais o impacto dos combustíveis alternativos também deve ser considerado. Neste sentido são apresentadas algumas vantagens e desvantagens que decorrem da utilização de combustíveis alternativos nos transportes rodoviários (ver Tabela 2.7).

O consumo de gás natural nos transportes rodoviários tem vindo a aumentar o que resulta principalmente da utilização de veículos de passageiros a gás natural nos principais centros urbanos das cidades europeias.

Tabela 2.7 – Vantagens e desvantagens dos combustíveis alternativos (Fonte: Joumard, 1999).

Combustível	Vantagens	Desvantagens
Gás Natural	<ul style="list-style-type: none"> - Emissões muito reduzidas de partículas em comparação com o gasóleo; - Emissões reduzidas de NO_x em comparação com emissões de veículos a gasóleo de última geração; - Emissões nulas de sulfatos e de SO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de reabastecimento complexos; - Dimensão do depósito de combustível quatro vezes superior; - Diminuição da eficiência dos motores (-20% que motores a gasóleo); - Problemas com as emissões de metano em situações particulares.
Álcool	<ul style="list-style-type: none"> - Índice de octanas elevado; - Emissões reduzidas de NO_x; - Emissões nulas de sulfatos e de SO₂; - Perdas reduzidas por evaporação do combustível. 	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas no arranque a frio (aumento das emissões de aldeídos); - Mais corrosivo que hidrocarbonetos; - Necessidade de depósitos de combustível maiores; - Problemas de segurança e manuseamento.
Éter Dimetílico	<ul style="list-style-type: none"> - Necessárias apenas pequenas modificações dos motores a diesel; - Emissões muito reduzidas de partículas; - Emissões reduzidas de NO_x; - Emissões nulas de sulfatos e de SO₂; - Diminuição do ruído. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa viscosidade; - São necessários melhoramentos no sistema de injeção.
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> - Número elevado de cetonas; - Bom lubrificante; - Emissões nulas de sulfatos e de SO₂; - Diminuição da toxicidade das partículas emitidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Propriedades corrosivas - Menor poder calorífico; - Temperatura de congelamento mais elevada; - Emissões de NO_x mais elevadas; - Odor.

2.3.1.6 Temperatura

A temperatura afecta quer as emissões de escape quer as emissões evaporativas que resultam da perda por evaporação do combustível. A temperatura desempenha um papel muito importante nos parâmetros de funcionamento dos veículos determinando, por exemplo, a eficiência do catalisador.

Os factores de emissão são fortemente influenciados pela temperatura. De uma forma geral a emissão aumenta com a diminuição da temperatura. Na Figura 2.8 encontra-se um exemplo do efeito da temperatura no factor de emissão de NO_x .

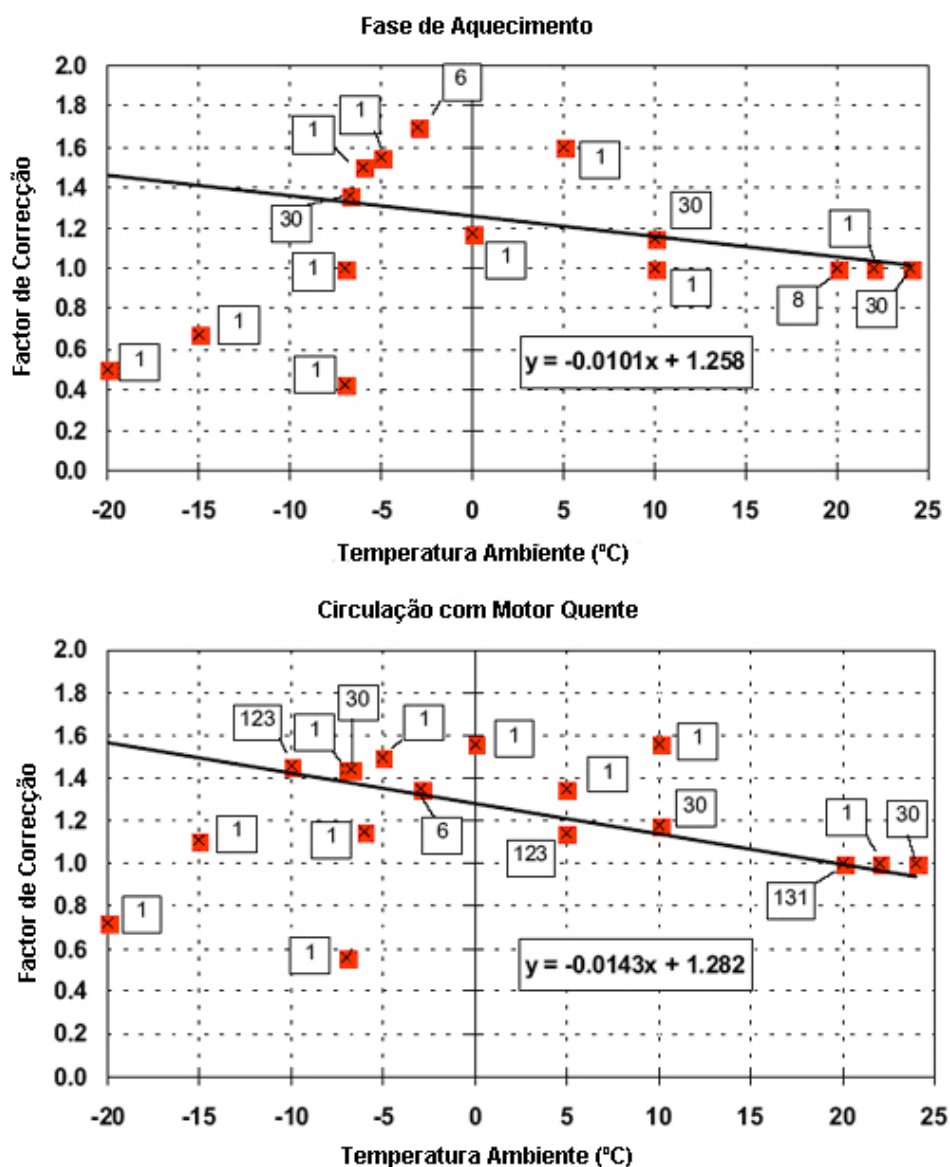


Figura 2.8 – Efeito da temperatura no factor de emissão de NO_x (Source: MEET, 1998)

2.3.1.7 Ar Condicionado

O sistema de ar condicionado provoca um aumento das emissões de gases poluentes devido à potência suplementar necessária para o funcionamento do equipamento de ar condicionado. A informação disponível sobre a influência do ar condicionado nos factores de emissão de CO e NO_x não é conclusiva, no entanto, relativamente ao CO₂ as emissões podem aumentar cerca de 20%. Por exemplo, foram medidos em veículos ligeiros de mercadorias aumentos de emissão de 20 a 30% nas emissões de CO, NO_x e CO₂ devido ao funcionamento do ar condicionado (MEET, 1998).

2.3.2 Emissões a Frio

As emissões a frio consistem no excesso de emissões que ocorrem na fase de aquecimento dos veículos, isto é, até o motor atingir as condições de temperatura ideais. As condições de circulação, o tipo de viagens realizadas e as condições meteorológicas determinam o tempo necessário para que o motor e os equipamentos de controlo de emissões atinjam a temperatura ideal. Por exemplo, para distâncias curtas a fracção da viagem percorrida com o motor a frio aumenta e o mesmo acontece à medida que decresce a temperatura ambiente.

As emissões a frio são função do parâmetro β o qual define a fracção da viagem percorrida com a temperatura do motor, e do catalisador, abaixo das condições normais de funcionamento. O parâmetro β depende das condições meteorológicas, nomeadamente da temperatura, e das condições de utilização do veículo, em particular da distância média dos percursos (*ltrip*). A temperatura tem ainda uma influência directa sobre as emissões a frio; há medida que a temperatura diminui as emissões a frio tendem a aumentar (ver Figura 2.9)

A distância média dos percursos na Europa situa-se entre os 5 e os 8 km (Laurikko *et al.*, 1995; André *et al.*, 1999) sendo que em zonas urbanas podem ser inferiores (2 a 4 km). Assim sendo, a fracção da viagem percorrida com motor a frio é superior em zonas urbanas.

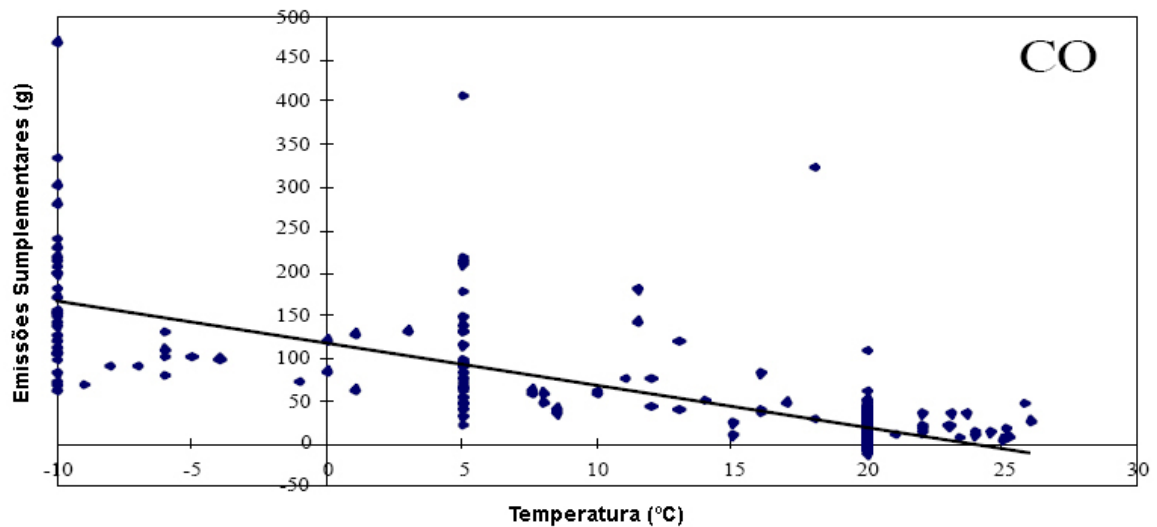


Figura 2.9 – Emissões a frio como função da temperatura ambiente para veículos a gasolina equipados com catalisador (Fonte: Joumard, 1999).

Apesar da influência da temperatura ambiente nas emissões a frio, como se demonstra na figura anterior, é a temperatura do motor que deve ser considerada na estimativa das emissões a frio dado que, segundo André *et al.*, 1999, apenas cerca de 19% das viagens são iniciadas com o motor à temperatura ambiente. A maioria das viagens tem início com a temperatura do motor acima da temperatura ambiente.

2.3.3 Emissões Evaporativas

As emissões evaporativas são o resultado do efeito combinado da volatilidade do combustível com a variação da temperatura. A variação da temperatura deve-se ao ciclo diário solar mas também às condições de funcionamento do veículo que fazem aumentar a temperatura no sistema de alimentação do motor (Samaras e Rijkeboer em Joumard, 1999).

Estima-se que na União Europeia as emissões evaporativas sejam cerca de 25% do total das emissões de compostos orgânicos voláteis.

Tabela 2.8 – Percentagem das emissões evaporativas em relação ao total de emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) em 1990 (Fonte: EMEP/CORINAIR, 2002).

País	% COV (1990)
Bélgica	34,2
Dinamarca	34,9
França	30,1
Alemanha	28,2
Irlanda	44,8
Itália	23,9
Luxemburgo	41,9
Portugal	33,0
Espanha	27,1
Reino Unido	14,5
EU12	23,7

Existem três fontes principais de emissões evaporativas nos veículos (EMEP/CORINAIR, 2002):

- Emissões diárias, que resultam da variação diária da temperatura devida ao ciclo solar o que leva à expansão do vapor dentro do depósito de combustível do veículo quando a temperatura sobe;
- Emissões *Hot Soak*, que resultam do aquecimento do combustível quando o veículo é desligado e cessa o fluxo de combustível no sistema de alimentação, permanecendo o combustível em contacto com superfícies quentes o que leva à sua evaporação;
- Perdas em circulação, que resultam do aumento da temperatura no depósito de combustível provocado pelo funcionamento do veículo.

As emissões evaporativas dependem de quatro factores principais:

- Tecnologia do veículo;
- Temperatura ambiente;
- Volatilidade do combustível;
- Condições de circulação

A volatilidade do combustível, ou RVP (*Reid Vapour Pressure*), é normalmente expressa em kPa e deve obedecer às especificações referidas na legislação nacional que regulamenta os

combustíveis (Decreto-lei n.º 104/2000; Portaria 1489/95; Portaria 125/89). A Tabela 2.9 apresenta os valores mensais de RVP presentes na legislação portuguesa.

Tabela 2.9 – RVP (valores em kPa).

Mês	Ano		
	1989 a 1995	1996 a 1999	≥ 2000
Jan	98	95	90
Fev	98	95	90
Mar	98	95	90
Abr	83	80	90
Mai	83	80	60
Jun	70	70	60
Jul	70	70	60
Ago	70	70	60
Set	70	70	60
Out	83	95	90
Nov	98	95	90
Dez	98	95	90

Existem vários modelos que permitem realizar uma estimativa das emissões evaporativas para o sector automóvel (CORINAIR, CONCAWE, MOBILE, RWTUV). Os resultados obtidos podem ser bastantes diferentes conforme o modelo utilizado, contudo, todos eles apresentam valores da mesma ordem de grandeza. O modelo CORINAIR é o recomendado para a estimativa das emissões evaporativas a nível europeu.

As emissões evaporativas ocorrem sobre a forma de COVNM apenas em veículos a gasolina. Na realização de um inventário nacional, as emissões evaporativas devem ser somadas às emissões de COVNM provenientes dos gases de escape.

2.4 Metodologias para a Estimativa de Emissões

2.4.1 Iniciativas a Nível Europeu

O grupo de investigação sobre factores de emissão para cálculo de emissões dos transportes rodoviários, criado no âmbito do programa CORINAIR, foi a primeira iniciativa europeia, aparte de iniciativas locais levadas a cabo por um conjunto de laboratórios a pedido de entidades nacionais, para o desenvolvimento de metodologias de inventário de emissões.

Os desenvolvimentos alcançados pelo grupo de trabalho CORINAIR formam mais tarde transformados num programa informático – COPERT – largamente utilizado a nível europeu para o cálculo das emissões dos transportes rodoviários.

O modelo COPERT é utilizado por muitos países para submissão de inventários de emissão no âmbito de iniciativas internacionais como, por exemplo, o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) ou o programa EMEP da Convenção sobre a Poluição Atmosférica a Longa Distância (CLRTAP).

Durante o desenvolvimento do programa COPERT, um outro grupo de cientistas desenvolvia o modelo MODEM que consistia num modelo para o cálculo das emissões dos veículos de passageiros. Os cientistas responsáveis pelo desenvolvimento dos dois modelos formaram um grupo único no âmbito do programa COST, que tinha o objectivo de coordenar os trabalhos desenvolvidos a nível Europeu sobre as emissões e consumos de energia no sector dos transportes.

Mais tarde surgiu o projecto *Methodologies for Estimating Emissions from Transport* (MEET) que tinha como objectivo o desenvolvimento de tarefas necessárias para o cumprimento dos objectivos do programa COST.

O tipo de modelos desenvolvidos pelos programas referidos baseia-se na estimativa de emissões a partir de distâncias percorridas. Este tipo de modelos são os mais utilizados na estimativa de emissões do transporte rodoviário. Além das distâncias percorridas os modelos usam factores de emissão, expressos em massa de poluente por unidade de distância percorrida, que é obtido através da extrapolação de resultados obtidos nos testes realizados em laboratório onde os veículos são instalados num dinamómetro e onde são efectuadas medições das emissões.

Esta abordagem para o calculo das emissões é designada “abordagem de baixo para cima” (ou *bottom-up approach*). Esta abordagem requer um grande conjunto de dados sobre os veículos que muitas vezes são difíceis de obter.

O processo alternativo para a estimativa de emissões é designado “abordagem de cima para baixo” (ou *top-down approach*) onde as emissões são calculadas a partir do consumo de combustível. No entanto, através deste processo não é possível obter uma desagregação adequada das emissões uma vez que a tecnologia dos veículos, as condições de circulação, as condições atmosféricas, entre outras variáveis, não são consideradas.

2.4.2 Actividade

As emissões atmosféricas são estimadas multiplicando um factor de emissão por um nível de actividade. Para os transportes rodoviários o nível de actividade é dado normalmente pela distância percorrida.

A informação sobre as distâncias percorridas pelos veículos é normalmente obtida através de medições combinadas com modelos de tráfego. A origem da medição e da modelação do

tráfego surgiu com a necessidade de sustentar decisões para construção de infra-estruturas rodoviárias ou para avaliação de medidas de gestão de tráfego.

As medições, contínuas ou pontuais, são realizadas por autoridades nacionais, regionais ou locais ou por empresas. Esta informação pode ser utilizada na calibração de modelos de tráfego que extrapolam resultados para as áreas onde não existem dados de medições.

Os modelos de tráfego mais comuns utilizam dados socio-económicos a partir dos quais é estimado um número de viagens entre locais. As viagens são seguidamente alocadas às vias existentes de acordo as características da própria via (comprimento, número de faixas, densidade de tráfego, velocidade, etc.). Os resultados do modelo podem ser utilizados na avaliação:

- da performance da rede viária;
- dos efeitos do aumento do tráfego;
- da construção de infra-estruturas rodoviárias;
- dos tempos de viagem;
- dos efeitos do congestionamento.

Os dados da actividade, isto é, da distância percorrida pelos veículos, podem ainda ser obtidos através de inquéritos aos indivíduos, diários de viagens, estudos de matrículas, entre outros. Estes processos não fornecem contudo resultados suficientemente abrangentes sobre o nível de actividade e devem ser utilizados como fonte suplementar de informação.

Os resultados das medições e dos modelos de tráfego fornecem o nível de actividade rodoviária que é multiplicada pelo factor de emissão obtendo-se deste modo uma estimativa das emissões. Seguidamente os resultados podem ser utilizados como dados de entrada em modelos de qualidade do ar (Janik, 1997; Stopher e Fu, 1997; Suhrbier *et al.*, 1997).

Os dados das medições e dos modelos de tráfego são portanto a maior fonte de dados de actividade rodoviária. Contudo, é necessário algum cuidado na sua aplicação em estudos de emissões ou de qualidade do ar uma vez que os modelos são desenvolvidos com o objectivo da gestão do tráfego. Por outro lado, a extrapolação de resultados obtidos a partir de um pequeno conjunto de estações de medição para toda uma região podem dar origem a erros significativos (EPA, 2001).

2.4.3 Determinação dos Factores de Emissão

A metodologia mais recente para a estimativa das emissões do transporte rodoviário inclui factores de emissão determinados no âmbito das actividades do MEET e do grupo CORINAIR/COPERT. Esta metodologia foi transcrita para um programa informático designado COPERT III que integra um conjunto de actualizações realizadas desde a criação da primeira versão do programa. O COPERT III é largamente utilizado a nível Europeu.

Os factores de emissão integrados no COPERT III derivam de uma grande base de dados compilada no âmbito dos objectivos do programa COST 319 e inclui dados recolhidos nos seguintes laboratórios:

- EMPA, *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing e Research*, <http://www.empa.ch/>, Suíça;
- INRETS, *Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité*, <http://www.inrets.fr/>, França;
- LAT/AUTH, *Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristotle University Thessaloniki*, <http://lat.eng.auth.gr/>, Grécia;
- MTC, *AVL MTC Motortestcenter*, <http://www.avl.com/>, Suécia;
- TNO, <http://www.tno.nl/>, Holanda;
- TRL, *Transport Research Laboratory*, <http://www.trl.co.uk/>, Reino Unido;
- TUG, *Technische Universität Graz*, <http://www.tugraz.at/>, Áustria;
- TÜV, *TÜV Rheinland Group*, <http://www.de.tuv.com/>, Alemanha.

Os factores de emissão são obtidos por meio de testes em laboratório efectuados aos veículos. Os veículos são instalados num dinamómetro e então é realizado um ciclo de teste que incorpora um conjunto de características cinemáticas previamente estabelecidas. Simultaneamente, são efectuadas medições aos gases de escape do veículo. Os factores de emissão integrados no programa COPERT III derivam de um conjunto de ciclos de teste. Os veículos ligeiros de passageiros e mercadorias foram sujeitos a ciclos de teste que abrangem velocidades médias compreendidas entre os 5 e os 130 km/h; para veículos pesados de mercadorias os ciclos compreendem velocidades médias entre os 0 e os 100 km/h; os veículos pesados de passageiros foram testados para velocidades médias entre 0 e 120 km/h e; os veículos de duas rodas (ciclomotores e motos) foram testados para velocidades médias entre 10 e os 110 km/h (MEET, 1998; EMEP/CORINAIR, 2002).

Uma vez que as emissões do veículo não dependem apenas da velocidade torna-se necessário realizar ciclos de teste que sejam representativos da realidade para determinada uma

velocidade média. Assim sendo, as acelerações e mudanças de engrenagem são incorporadas num ciclo de teste com uma determinada velocidade média e é assumido que na realidade os veículos comportam-se de uma forma semelhante (MEET, 1998). A Figura 2.10 apresenta as características de um ciclo de teste baseado nas condições reais de circulação a nível Europeu (ciclo modem). Existem também ciclos de teste que são regulamentados e onde são estabelecidas determinadas condições cinemáticas às quais é sujeito o veículo em teste.

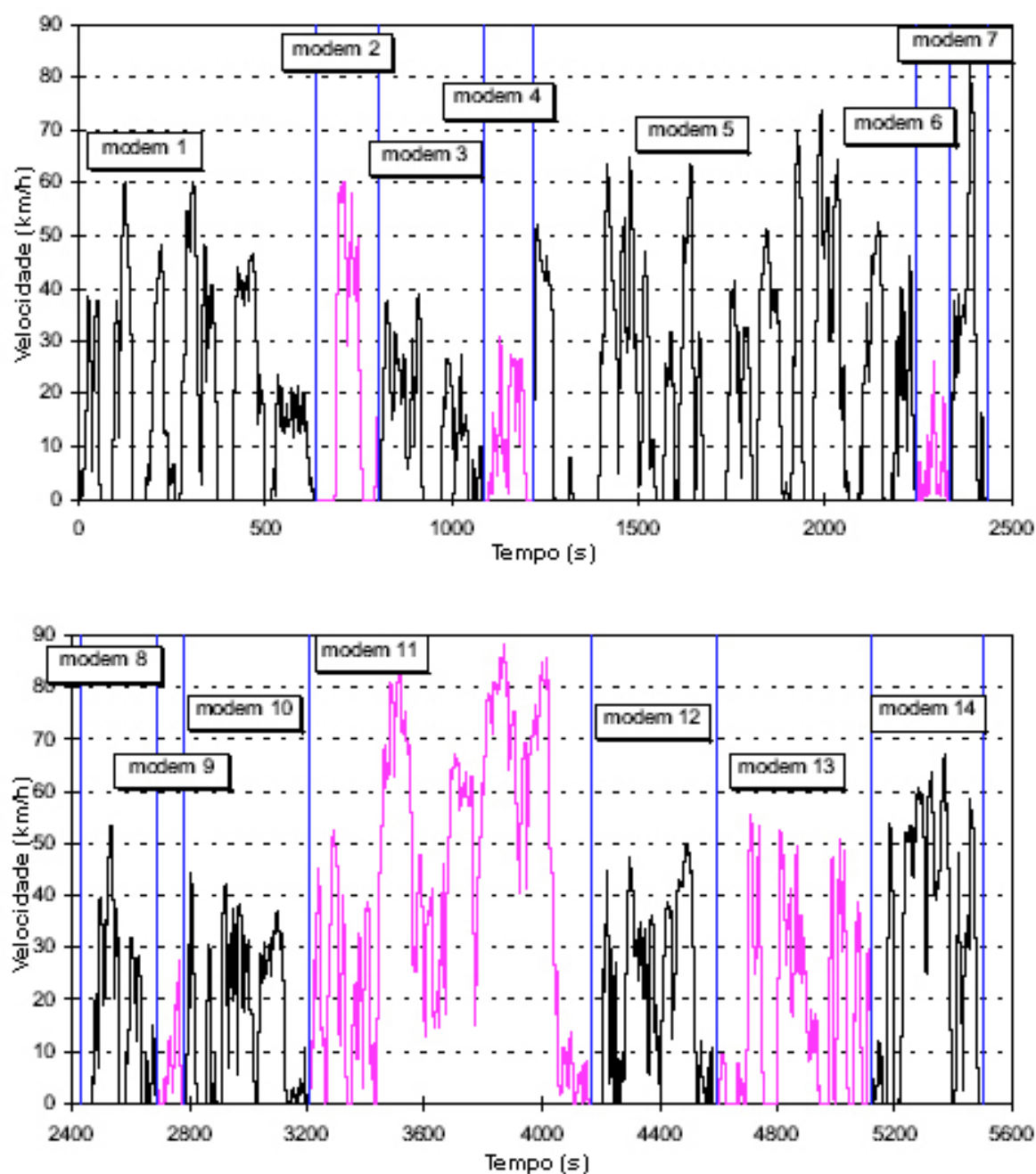


Figura 2.10 – Ciclo de teste modem.

Tabela 2.10 – Ciclo de teste modem.

Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Duração (s)	635	168	282	132	1027	91	100	250	95	430	962	423	526	383
Distância (km)	3,45	0,88	1,08	0,41	6,33	0,13	0,84	1,11	0,20	1,87	11,35	2,44	2,62	3,41
V _{média} (km/h)	19,5	18,8	13,8	11,1	22,2	5,2	30,2	15,9	7,7	15,6	42,5	20,8	17,9	32,1
V _{máxima} (km/h)	60,0	60,0	39,1	31,0	73,5	26,1	82,4	53,5	27,5	44,4	88,2	49,9	55,7	67,0
V _{max} x Acel. (m ² /s ³)	17,3	20,3	10,3	7,14	31,2	,97	35,2	14,3	4,5	18,4	18,7	14,2	19,2	19,3

Apresentam-se ainda um conjunto de ciclos de teste considerados representativos das condições de circulação Europeias.

Tabela 2.11 – Exemplos de ciclos de teste utilizados para determinação de factores de emissão para veículos ligeiros de passageiros e mercadorias.

Nome	Tipo	Velocidade Média (km/h)
Modem6	real	5,20
CT	real	6,64
ulent2	real	7,50
Modem9	real	7,60
Modem4	real	11,00
Modem3	real	13,80
mUS	real	14,30
Modem10	real	15,60
Modem8	real	15,90
Modem13	real	17,90
TRLUrban	real	18,58
Modem2	real	18,80
UDC	legislado	19,00
uflui2	real	19,50
Modem1	real	19,50
Modem12	real	20,80
Modem5	real	22,20
mUFF	real	22,80
FTP75/2	legislado	26,00
TRL 1	real	27,71
Modem7	real	30,20
Modem14	real	32,10
TRL 4	real	39,02

Nome	Tipo	Velocidade Média (km/h)
FTP75/3	legislado	41,00
route2	real	42,00
Modem11	real	42,50
mR	real	42,90
TRLRural	real	55,71
EUDC	legislado	63,00
Cgv	real	64,00
autor1	real	74,00
TRL 2	real	76,17
TRL 3	real	76,43
Highway	real	78,00
C80	real	80,00
TRL 5	real	93,00
TRL 6	real	93,03
T100	real	100,00
mM	real	101,00
TRLMotor	real	102,64
bab436	real	107,00
bab736	real	110,00
T115	real	115,00
bab1000	real	118,00
C120	real	120,00
T130	real	130,00

Concluindo, a medição das emissões enquanto o veículo é sujeito a um ciclo cinemático permite obter correlações entre os factores de emissão e a velocidade média para veículos de diferentes tecnologias. Deste modo são obtidos factores de emissão como função da velocidade. A equação seguinte consiste num exemplo de factor de emissão de monóxido de carbono para um veículo ligeiro de passageiros a gasóleo EURO I válida para velocidades médias compreendidas entre os 10 e os 130 km/h.

$$CO_{(g / km)} = 5,41301 \times V_{(km / h)}^{-0,574}$$

Equação 2.2

2.4.4 Abordagens “de baixo para cima” vs “de cima para baixo”

A quantificação das emissões para a realização de um inventário nacional pode efectuar-se de acordo com duas abordagens distintas: de cima para baixo (ou *top-down approach*) e; de baixo para cima (ou *bottom-up approach*).

Os inventários de emissão atmosférica podem ser aplicados em diferentes escalas espaciais:

- Local (por exemplo, inventário urbano de emissões, redes de monitorização da qualidade do ar, planos e programas);
- Regional/Nacional (por exemplo, modelos químicos e de transportes de poluição atmosférica);
- Sinóptico/Global (por exemplo, alterações climáticas, ou transporte de poluentes a longa distância).

Na sua aplicação, os inventários podem apresentar problemas de consistência que decorrem das diferentes escalas espaciais utilizadas: local, regional e nacional.

Do ponto de vista metodológico, o problema da consistência surge devido às discrepâncias existentes entre a abordagem *top-down* e *bottom-up*. De facto, para uma determinada escala espacial, as abordagens *top-down* e *bottom-up* levam a resultados de emissão diferentes. As razões para tal devem-se, por exemplo, às diferenças entre o tipo de dados utilizados (Chang *et al.*, 2004).

A abordagem *top-down* permite obter dados totais para uma determinada região e para um dado intervalo de tempo (um ano, por exemplo). As emissões dos transportes rodoviário podem ser estimadas a partir dos consumos de combustível realizados na região em causa (Colville, 2001). Esta abordagem é aconselhada para a quantificação das emissões de CO₂ partindo-se da quantidade e do tipo de combustível consumido num dado intervalo de tempo (IPCC, 2000).

A abordagem *bottom-up* baseia-se em dados detalhados e geo-referenciados, por exemplo, fluxo de tráfego numa determinada via rodoviária. Estes dados são necessários para a determinação de emissões de poluentes tais como o NO_x, o CO, o CH₄ e o N₂O, que não dependem apenas do consumo de combustível mas também das condições de circulação dos veículos, da tecnologia e do tipo de combustível utilizado. À medida que diminui a área de análise aumenta o erro associado aos dados de actividade e dos dados do consumo de combustível (IPCC, 2001). Dado o volume de dados necessários na abordagem *bottom-up*, pode gerar-se uma tendência para se estabelecerem pressupostos e aproximações que poderão traduzir-se em erros significativos no resultado final.

A estimativa das emissões anuais utilizando os dois métodos pode diferir em cerca de 100% ou menos para uma cidade com uma boa caracterização dos dados de actividade. Para a determinação das emissões áreas mais pequenas e para intervalos de tempo menores, por exemplo, as emissões de uma via a uma hora específica, os resultados podem diferir até um factor de 10 (Colville, 2001).

2.4.5 Experiência Internacional

A maior parte dos países que submeteram os seus inventários nacionais no âmbito dos acordos internacionais utilizam uma combinação das metodologias específicas do país com as metodologias propostas pelo IPCC e pelo CORINAIR. A descrição das metodologias pode ser avaliada nos Relatórios do Inventário Nacional (NIR) que acompanha as submissões dos inventários de emissão à União Europeia e às Nações Unidas.

No que concerne ao sector rodoviário, verifica-se que a maior parte dos países da União Europeia utiliza o programa COPERT/CORINAIR no cálculo das emissões dos transportes rodoviários. Contudo, alguns países desenvolveram os seus próprios modelos para a estimativa das emissões.

A Alemanha, por exemplo, desenvolveu o modelo TREMOD. É um modelo específico para o país e é utilizado por várias instituições alemãs tais como a *Federal Office for Environment Protection*, a *Federation of the German Automobile Industry* e a *Mineral Oil Trade Association*. O modelo tem como objectivo o cálculo das emissões provenientes do tráfego motorizado na Alemanha (Umweltbundesamt, 2005). O TREMOD utiliza uma abordagem *bottom-up* através da qual as distâncias específicas percorridas por cada tipo de veículo são multiplicadas pelo factor de emissão característico da região em causa. O modelo calcula também as emissões a frio dos veículos ligeiros de passageiros e de mercadorias. Os dados de actividade são fornecidos nas estatísticas das entidades oficiais. São também utilizados dados de estudos específicos sempre que necessário.

Na Austrália as emissões de CO₂ são calculadas com base na metodologia de baixo nível (*Tier* 1) proposta pelo IPCC. As emissões dos poluentes que não dependem só do consumo de combustível são calculadas utilizando uma abordagem mais detalhada (*Tier* 2). No caso do N₂O, a Austrália usa o factor de emissão de referência proposto pelo IPCC. As abordagens *Tier* são métodos de cálculo definidos de acordo com o nível de detalhe dos dados de actividade. *Tier* 1 é o método de aplicação mais simples e através do qual é possível obter a estimativa de emissões recorrendo a poucos dados de entrada. O método *Tier* 3 é o mais complicado exigindo um volume significativo de dados de actividade e um maior nível de experiência para a sua aplicação (IPCC, 1996).

Na Espanha é utilizado o modelo COPERT III para a estimativa das emissões rodoviárias. O sector dos transportes é considerado um sector chave no âmbito dos inventários nacionais. Contudo, não está explícita no NIR do país a forma como são obtidos os dados da actividade para a aplicação do modelo.

A Noruega possuiu um modelo em funcionamento na instituição *Statistics Norway*. O cálculo efectuado pelo modelo baseia-se em dados detalhados relativos ao tipo de veículo, tecnologia, quilometragem e modo de circulação. Estes dados são utilizados na alocação do consumo de combustível que é obtido nos registos oficiais e nas estatísticas nacionais. O modelo calcula separadamente as emissões a frio. Os factores de emissão derivam dos ciclos de teste realizados na Noruega e também noutros países.

O Reino Unido usa uma combinação de métodos. Para o cálculo do CO₂ são utilizados os consumos e as propriedades dos combustíveis. Os poluentes COVNM, NO_x, CO, CH₄ e N₂O são estimados a partir de factores de emissão expressos em gramas por quilómetro e de dados do tráfego rodoviário obtidos nas estatísticas nacionais. Os factores de emissão derivam dos ciclos de teste realizados sob diferentes velocidades médias aos veículos em circulação. Os dados do tráfego rodoviário são obtidos por estimativa para as diversas classes de vias e para os diversos tipo de veículos. A partir dos dados do primeiro registo automóvel o tráfego rodoviário é desagregado de acordo com o tipo de combustível o com a tecnologia dos veículos.

Seguidamente, apresenta-se um resumo das emissões do transporte rodoviário e a sua comparação com o total de emissões de alguns países. Os dados foram compilados a partir dos inventários nacionais que foram submetidos no âmbito na UNFCCC.

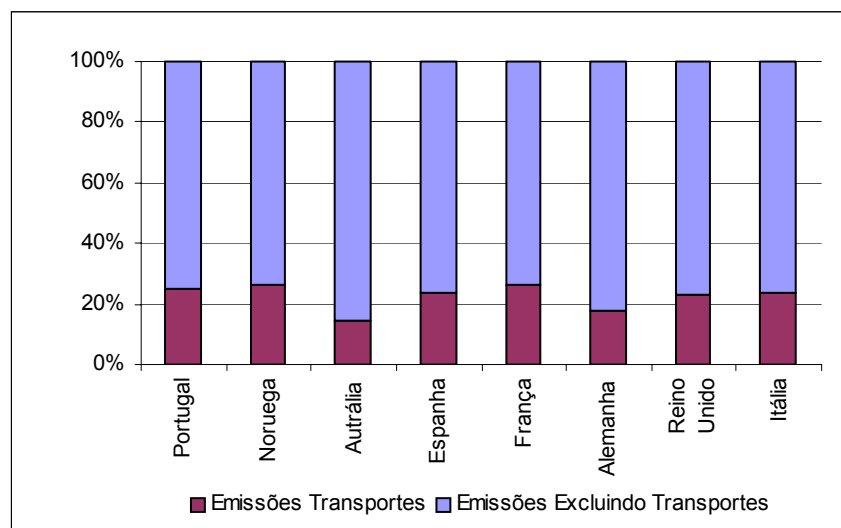


Figura 2.11 – Percentagem das emissões do transporte (incluindo todos os modos) em relação às emissões totais.

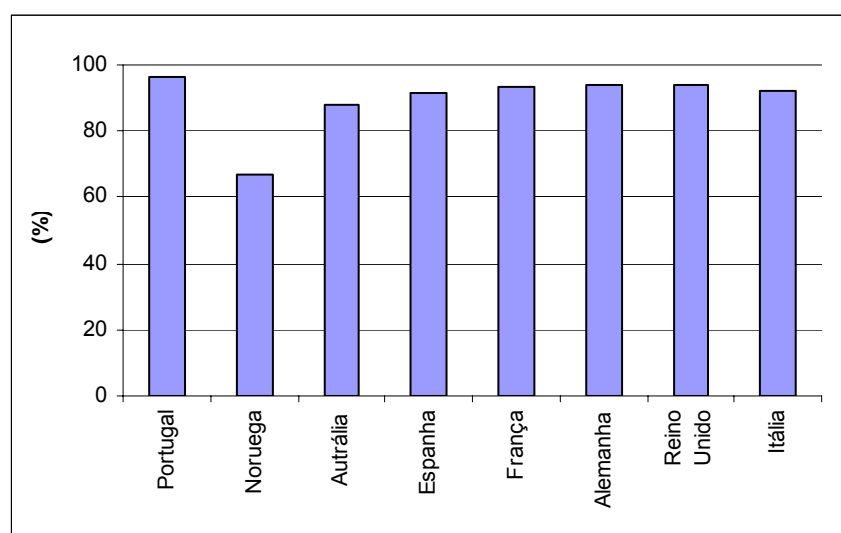


Figura 2.12 – Percentagem das emissões do transporte rodoviário em relação ao total do sector dos transportes.

Apesar das diferentes metodologias utilizadas no cálculo das emissões, a fracção da emissão proveniente do sector dos transportes é semelhante entre os países seleccionados para esta análise. É também de salientar a elevada percentagem das emissões do transporte rodoviário em relação ao total dos transportes, com valores superiores a 90%.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

O sector rodoviário é considerado um sector chave para o inventário de emissões dada a sua importante contribuição para o total de emissões a nível nacional. Sendo um sector chave torna-se prioritário o desenvolvimento e a melhoria das metodologias utilizadas para a estimativa das emissões deste sector.

De uma forma geral, as emissões atmosféricas podem ser estimadas utilizando um modelo de cálculo que se baseia no nível de actividade e que para o sector dos transportes rodoviários pode ser expresso em quilómetros percorridos. Este tipo de modelos pode ser descrito pela seguinte equação:

$$E = e \times a$$

Equação 3.1

onde,

E = quantidade de emissões;

e = nível de emissão por unidade de actividade (por exemplo, g/km)

a = nível de actividade (por exemplo, km)

A aplicação de modelos que se baseiam nos quilómetros percorridos requerem um volume de dados significativo e um nível de desagregação detalhado. Os dados necessários para o cálculo são muitas vezes difíceis de obter, tal como acontece com os dados da quilometragem dos veículos, ou não existem de todo. Deste modo foi necessário desenvolver uma metodologia que permitisse determinar a distância percorrida a partir do consumo de combustível processo após o qual podem ser estimadas as emissões de acordo com o modelo descrito pela Equação 3.1.

Neste capítulo pretende-se descrever extensivamente a metodologia utilizada no cálculo das emissões atmosféricas do transporte rodoviário. A metodologia desenvolvida utiliza uma combinação de métodos internacionais/europeus e métodos específicos para o país. A utilização de métodos específicos é aconselhada pelo “Guia das Boas Práticas” do IPCC uma vez que traduzem condições específicas do país.

O período de análise refere-se aos anos compreendidos entre 1990 e 2003. O desenvolvimento da metodologia para o cálculo das emissões atmosféricas é um processo contínuo sendo

actualizado à medida que surgem novas informações. Sempre que é introduzida uma alteração à metodologia em uso as emissões são recalculadas para todo o período em análise.

As alterações principais à metodologia anterior e propostas nesta nova abordagem incluem:

- Revisão dos quilómetros percorridos para o período 1990 – 2003;
- Construção de uma nova série da frota de veículos baseada nos abates e nas vendas desde 1975;
- Cálculo das emissões evaporativas com base na nova série de dados da frota;
- Revisão das condições de circulação (a velocidade⁸, por exemplo)

O métodos utilizados na metodologia agora proposta encontram-se em conformidade com os documentos do IPCC: *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* e *Good Practice Guidance*.

As emissões de gases de escape foram determinadas para cada uma das classes de veículos presentes na Tabela 3.1⁹:

⁸ A metodologia agora proposta estabelece velocidades médias por tipo de veículo e por modo de circulação.

⁹ As classes de veículos são as consideradas na metodologia proposta pelo *EMEP/CORINAIR Methodology (3rd ed)*.

Tabela 3.1 – Classes de veículos consideradas.

Classe do Veículo	Tipo
Ligeiros de Passageiros (PC)	Gasolina <1,4 l;
	Gasolina 1,4 – 2,0 l;
	Gasolina >2,0 l;
	Gasóleo <2,0 l;
	Gasóleo >2,0 l;
	GPL;
Ligeiros de Mercadorias <3,5 t (LDV)	Gasolina
	Gasóleo
Pesados de Mercadorias (HDV)	Gasolina
	Gasóleo <7,5 t
	Gasóleo 7,5 – 16 t
	Gasóleo 16 – 32 t
	Gasóleo >32 t ¹⁰
	Autocarros Urbanos
	Autocarros Regionais
Ciclomotores < 50cm ³	
Motos	Dois Tempos >50 cm ³
	Quatro Tempos 50 – 250 cm ³
	Quatro Tempos 250 – 750 cm ³
	Quatro Tempos >750 cm ³

Para cada uma das classes de veículos as emissões são ainda desagregadas:

- Pela tecnologia de controlo das emissões que pode ser traduzida em função da idade do veículo;
- Pelo modo de circulação (urbano, rural ou auto-estrada).

Os veículos a gasolina são ainda responsáveis pela libertação de emissões evaporativas que devem ser incluídas no sector rodoviário. As emissões evaporativas consistem na libertação de compostos orgânicos voláteis do combustível. As três fontes principais de emissões evaporativas nos veículos são (EMEP/CORINAIR, 2002):

¹⁰ Os veículos pesados de mercadorias com peso superior a 32 t não foram considerados uma vez que os dados estatísticos não consideram este tipo de veículos.

- Emissões diárias, que resultam da variação diária da temperatura provocada pelo ciclo solar levando à expansão do vapor dentro do depósito de combustível do veículo quando a temperatura sobe;
- Emissões *Hot Soak*, que resultam do aquecimento do combustível quando o veículo é desligado e cessa o fluxo de combustível no sistema de alimentação, permanecendo o combustível em contacto com superfícies quentes o que leva à sua evaporação;
- Perdas em circulação, que resultam do aumento da temperatura no depósito de combustível provocado funcionamento do veículo.

A metodologia proposta foi transcrita para uma ferramenta informática (BURNN) que utiliza uma linguagem de programação *MICROSOFT VISUAL BASIC®* em conjunto com o *MICROSOFT EXCEL®*. Esta ferramenta, desenvolvida em colaboração com o Instituto do Ambiente, é compatível com a metodologia de cálculo de factores de emissões descrita no Guia de Inventários de Emissão EMEP/CORINAIR e que deriva do programa COPERT III (Ntziachristos e Samaras, 2000) usado no cálculo das emissões dos transportes rodoviários.

Simultaneamente, e no âmbito da realização do inventário nacional que enquadra este estudo, foi desenvolvido o modelo KAR que permite a determinação da frota de veículos com base nos dados de vendas (desde 1975) e abates fornecidos nas estatísticas da Associação do Comércio Automóvel de Portugal (ACAP).

O diagrama de fluxo do modelo BURNN pode ser sintetizado de acordo com a Figura 3.1 na qual é possível identificar os seguintes processos principais:

- Estimativa da frota de veículos por tipo de veículo¹¹ (obtida a partir do modelo KAR);
- Estimativa dos quilómetros percorridos desagregados por tipo de veículo, por condições de circulação e por tecnologia;
- Estimativa do consumo de combustível por tipo de veículo, por condições de circulação e por tecnologia através da combinação das abordagens *top-down* e *bottom-up*;

¹¹ Cada classe de veículos é ainda desagregada no tipo de veículo, idade, e tipo de combustível. A tecnologia dos veículos é função da idade de construção dos mesmos (ver Tabela 3.1)

-
- ```
graph TD
 T1[Tráfego em AEs (km)] --> T2[Actividade em AEs por tipo de veículo e de combustível (km)]
 T2 --> T3[AEs FC 1ª fase por tipo de veículo e de combustível (t)]
 T2 --> T4[Consumo FC por tipo de combustível (t)]
 T4 --> T5[correção bottom-up x top-down]
 T5 --> T6[Consumo Final por tipo veículo, de combustível e por modo de circulação (t)]
 T6 --> T7[Emissões C, S, MP (t)]
 T6 --> T8[Volume Tráfego por tipo veículo, de combustível e por modo de circulação (km)]
 T8 --> T9[Emissões NOx, CH4, CO, N2O, COV, NH3, FM (t)]
 T9 --> T10[Emissões totais]
```

44

## 3.2 Frota de Veículos

### 3.2.1 Veículos Ligeiros

A frota de veículos ligeiros foi estimada a partir do modelo KAR que se baseia nos dados de vendas e abates de veículos obtidos nas estatísticas da ACAP. Este modelo determina a frota em actividade, ano a ano, relativamente aos seguintes tipos de veículos:

- ligeiros de passageiros;
- ligeiros de mercadorias;
- ciclomotores;
- motos.

As estatísticas da ACAP, que serviram de base para a construção do KAR e que permitem a estimativa da frota de veículos ligeiros, incluem as vendas de veículos por modelo desde 1975. Para veículos de passageiros as vendas encontram-se desagregadas por tipo de combustível. Relativamente aos veículos ligeiros de mercadorias, considerou-se que todos utilizariam gasóleo.

O modelo KAR integra uma função de abate de veículos obtida a partir dos dados da ACAP. Esta função é aplicada aos dados das vendas de veículos para estimar o parque ano a ano. A função de abate integrada no KAR é dada pelo seguinte conjunto de equações.

$$T_{(c,a,f,y1)} = S_{(c,y2)} \times \left[ 1 - \frac{(0,0477 \times e^{(0,6003 \times A_{(y1-y2)})})}{100} \right]; A < 10$$
$$T_{(c,a,f,y1)} = S_{(c,y2)} \times \left[ 1 - \frac{(5,2721 \times A_{(y1-y2)} - 35,199)}{100} \right]; 10 \leq A \leq 20$$

**Equação 3.2**

onde,

$T_{(c,a,f,y1)}$  = número de veículos de classe c a combustível f, com idade a no ano y1;

$S_{(c,y2)}$  = vendas de veículos de classe c, a combustível f no ano y2;

$A_{(c,y1-y2)}$  = idade dos veículos de classe c a combustível f no ano y1.

O número de veículos a GPL foi determinado a partir dos dados de consumo de combustível disponíveis na Direcção-Geral de Geologia e Energia (DGGE) e dos factores de consumo de

GPL disponíveis no *CORINAIR*. Para tal considerou-se que o nível de actividade dos veículos a GPL, expresso em quilómetros por veículo, seria o mesmo que o nível de actividade dos veículos ligeiros de passageiros a gasolina.

### 3.2.2 Veículos Pesados

O parque de veículos pesados de mercadorias foi estimado a partir das estatísticas da ACAP. Para o cálculo das emissões de acordo com a metodologia EMEP/CORINAIR é necessária a desagregação por classe de peso dos veículos. No entanto, nos dados da ACAP a desagregação por peso não se encontra disponível para todos os anos em estudo e, para os anos em que existem, as classes de peso não são exactamente iguais às necessárias para o cálculo das emissões. Deste modo a série de dados da frota de pesados foi adaptada para se poder proceder ao cálculo.

A desagregação por classes de peso foi efectuada com base na percentagem média de vendas de veículos pesados no ano 2001 e 2002. As classes de peso foram adaptadas às classes previstas na metodologia EMEP/CORINAIR de acordo com a Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 – Correspondência entre classes de peso de veículos pesados de mercadorias da ACAP e do EMEP/CORINAIR.**

| <b>Classes de Peso<br/>ACAP<sup>12</sup></b> | <b>Classes de Peso<br/>EMEP/CORINAIR</b> |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|
| 3,5 – 6,0 t                                  | 0,0 – 7,5 t                              |
| 6,0 – 9,0 t                                  | 7,5 – 16,0 t                             |
| 9,0 – 12 t                                   |                                          |
| 12 – 16,0 t                                  |                                          |
| 16,0 – 19,0 t                                | 16,0 – 32,0 t                            |
| -                                            | > 32,0 t                                 |

A distribuição por classe de peso, deste modo obtida, foi aplicada a toda a série de 1990 a 2003.

---

<sup>12</sup> Disponível para os anos 2001 e 2002.

**Tabela 3.3 – Percentagem de veículos pesados de mercadorias por classe de peso.**

| <b>Classe de Peso</b> | <b>Veículos Pesados (%)</b> |
|-----------------------|-----------------------------|
| < 7,5 t               | 11                          |
| 7,5 – 16 t            | 68                          |
| 16 – 32 t             | 20                          |
| > 32 t                | 0                           |

Os dados da frota de pesados foram ainda desagregados por idade. No calculo das emissões não é a idade do veículo que realmente deve ser considerada mas sim a idade do motor. No entanto, não existem dados para realizar a desagregação por idade do motor. Assumiu-se assim a idade do veículo como indicador para a desagregação.

A desagregação por idade foi efectuada com base na percentagem média de veículos por idade nos anos de 2000 e 2002, disponível nas estatísticas da ACAP. A percentagem de veículos pesados por idade encontra-se presente na Tabela 3.4. Esta distribuição foi utilizada para toda a série da frota compreendida entre 1990 e 2003.

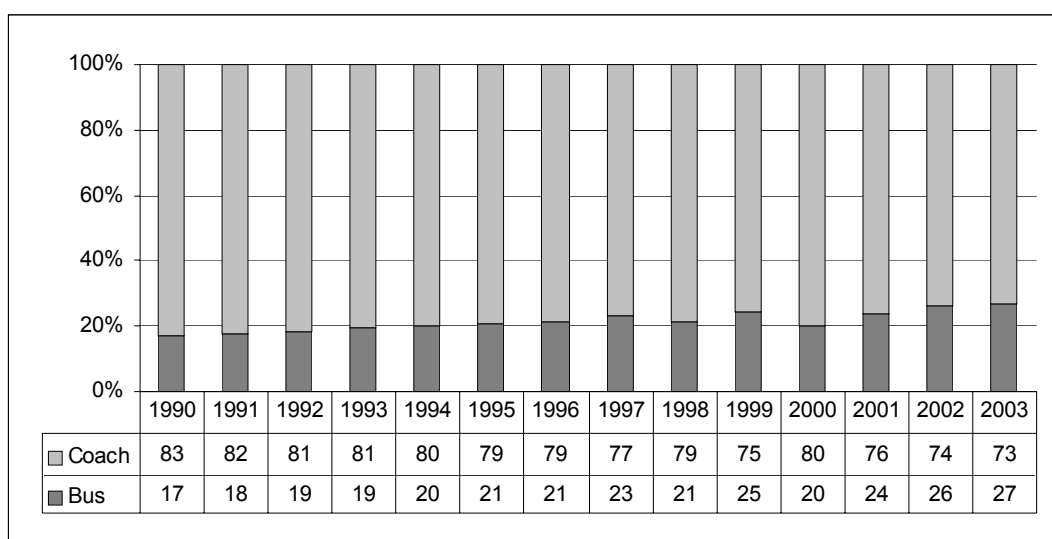
**Tabela 3.4 – Percentagem da frota de veículos pesados por idade.**

| <b>Idade</b> |          | <b>Veículos Pesados (%)</b> |
|--------------|----------|-----------------------------|
| <b>De</b>    | <b>A</b> |                             |
| 0            | 1        | 4,5                         |
| 1            | 2        | 5,1                         |
| 2            | 3        | 4,9                         |
| 3            | 4        | 4,6                         |
| 4            | 5        | 3,9                         |
| 5            | 10       | 27,6                        |
| 10           | 15       | 30,3                        |
| 15           | 19       | 10,9                        |
| ≥20          |          | 8,2                         |
| Total        |          | 100                         |

Assumiu-se que todos os veículos pesados estão equipados com motores a gasóleo.

A frota de autocarros urbanos e regionais foi estimada a partir dos dados do número de veículos fornecidos pela Direcção-Geral de Viação (DGV) e pelo Instituto de Seguros de Portugal (ISP). Os dados foram adaptados de acordo com a desagregação necessária para o cálculo das emissões.

A série de dados da DGV e do ISP não distinguem entre autocarros urbanos (*bus*) e autocarros regionais (*coach*). Esta desagregação foi obtida a partir das estatísticas do Instituto Nacional de Estatística (INE). A desagregação encontra-se disponível desde 1997. Para os anos anteriores (1990 a 1996), a desagregação foi estimada a partir de uma regressão linear obtida com os dados compreendidos entre 1997 e 2003.



**Figura 3.2 – Percentagem estimada de autocarros urbanos e regionais.**

A distribuição por idade assumida para os veículos pesados de mercadorias foi também utilizada para os veículos pesados de passageiros.

### 3.3 Distâncias Percorridas

As distâncias percorridas pelos veículos foram estimadas por modo de circulação:

- Auto-estrada;
- Rural;
- Urbano.

As distâncias percorridas foram ainda estimadas para cada uma das classes de veículos:

- Ligeiros de passageiros;

- Ligeiros de mercadorias;
- Pesados de mercadorias;
- Autocarros;
- Ciclomotores;
- Motos.

A escassez de contadores e de dados de tráfego limita significativamente a estimativa das distâncias percorridas nos modos rural e urbano. Assim sendo, a estimativa da actividade para os modos urbano e rural foi realizada a partir de um estudo sobre a procura de energia no sector dos transportes realizado pela DGGE. Este estudo fornece indicações sobre o consumo de energia actual e futuro com base em projecções de procura de energia.

Os centros de inspecção de veículos pode ser uma fonte importante de dados sobre a actividade dos veículos, nomeadamente os quilómetros percorridos por veículo. Os centros de inspecção são da responsabilidade da DGV. Estes dados constituem um elemento fundamental na estimativa de emissões uma vez que dizem respeito à actividade real. Contudo, não foi possível a utilização destes dados dada a dificuldade de disponibilização por parte da DGV.

Como foi referido anteriormente, os dados da actividade podem ser complementados com resultados de modelos de tráfego. Actualmente não existe um modelo de tráfego implementado a nível nacional. Esse é o objectivo do Instituto de Estradas de Portugal (IEP) que possui um modelo de tráfego em fase de implementação. Não é ainda conhecida a data a partir da qual os resultados do modelo de tráfego podem ser utilizados para a estimativa das emissões do sector rodoviário.

### **3.3.1 Auto-estrada**

A actividade em auto-estradas foi estimada em quilómetros percorridos. A informação sobre o tráfego nas auto-estradas, com ou sem portagem, está disponível anualmente e é fornecida ao IEP pelos concessionários das auto-estradas. A informação encontra-se desagregada por sub-lanços específicos com densidade de tráfego constante. A evolução da rede de auto-estradas entre 1990 e 2003 foi disponibilizada pelo IEP em base geo-referenciada.

A informação do tráfego nas auto-estradas agrega todos os tipos de veículos. A distribuição do tráfego de acordo com o tipo de veículo foi possível obter a partir das percentagens de ocorrência de veículos (pesados e ligeiros) propostos pelo IEP. A distribuição foi estimada de acordo com os dados das portagens (ver Tabela 3.5). Para os sub-lanços sem informação o IEP propõe uma percentagem de pesados em circulação de 10%.

**Tabela 3.5 – Fracção de veículos pesados nas auto-estradas (Fonte: IEP)**

| Auto-estrada | Veículos Pesados (%) |
|--------------|----------------------|
| A01          | 15                   |
| A02          | 9                    |
| A03          | 11                   |
| A04          | 11                   |
| A05          | 5                    |
| A06          | 15                   |
| A07          | 10                   |
| A08          | 10                   |
| A09          | 11                   |
| A11          | 7                    |
| A12          | 11                   |
| A13          | 22                   |
| A14          | 11                   |
| A15          | 16                   |
| A22          | 10                   |
| A23          | 10                   |
| A24          | 10                   |
| A25          | 10                   |
| A27          | 10                   |
| A28          | 10                   |
| A28          | 10                   |

Uma vez que os veículos ligeiros em circulação em auto-estrada incluem também os motociclos, torna-se necessário distinguir as distâncias percorridas por este tipo de veículos. Dado que não existe informação que permita fazer a distinção das ocorrências de motociclos em auto-estrada, optou-se por assumir a percentagem proposta por Joumard, 1999, de 3%.

**Tabela 3.6 – Percentagem da distância percorrida em auto-estrada por tipo de veículo (Fonte: adaptado de Joumard, 1999).**

| Veículo                 | km/ano | %   |
|-------------------------|--------|-----|
| Ligeiros de Passageiros | 12000  | 97% |
| Motociclos              | 380    | 3%  |

A distribuição do número de quilómetros percorridos em auto-estrada implica o conhecimento prévio da frota de veículos. A actividade é então determinada de acordo as equações seguintes.

$$\begin{aligned}
Km_{LV\text{auto-estrada}}(LV,t,f,y) &= C_{LV(c,t,f,y)} \times \sum_{(l,r)} [L_{\text{Comprimento}}(l,r) \times L_{\text{Tráfego}}(l,r,y) \times (1 - F_{HV(l,r)}) \times (1 - F_{2W})] \\
Km_{2W\text{auto-estrada}}(2W,t,f,y) &= C_{2W(c,t,f,y)} \times \sum_{(l,r)} [L_{\text{Comprimento}}(l,r) \times L_{\text{Tráfego}}(l,r,y) \times (1 - F_{HV(l,r)}) \times F_{2W}] \\
Km_{HV\text{auto-estrada}}(HV,t,f,y) &= C_{HV(c,t,f,y)} \times \sum_{(l,r)} [L_{\text{Comprimento}}(l,r) \times L_{\text{Tráfego}}(l,r,y) \times F_{HV(l,r)}]
\end{aligned}$$

### Equação 3.3

Onde,

$Km_{LV\text{auto-estrada}}(LV,t,f,y)$  = total quilómetros percorridos em auto-estrada por veículos ligeiros (excluindo motociclos) de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, no ano y (km/ano);

$Km_{2W\text{auto-estrada}}(LV,t,f,y)$  = total quilómetros percorridos em auto-estrada por motociclos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, no ano y (km/ano);

$Km_{HV\text{auto-estrada}}(LV,t,f,y)$  = total quilómetros percorridos em auto-estrada por veículos pesados de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, no ano y (km/ano);

$C_{LV(c,t,f,y)}$  = fracção de veículos ligeiros de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f em relação ao total da frota de ligeiros no ano y (excluindo motociclos);

$C_{2W(c,t,f,y)}$  = fracção de motociclos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f em relação ao total de motociclos no ano y;

$C_{HV(c,t,f,y)}$  = fracção de veículos pesados de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f em relação ao total de veículos pesados no ano y;

$F_{HV(l,r)}$  = fracção de veículos pesados no sub-lanço l da autoestrada r;

$F_{2W}$  = fracção de motociclos em relação ao total das ocorrências de veículos ligeiros;

$L_{\text{Comprimento}}(l,r)$  = comprimento do sub-lanço l da auto-estrada r (km);

$L_{\text{Tráfego}}(l,r,y)$  = volume de tráfego registado no sub-lanço l no ano y (número de veículos por ano);

l = sub-lanço de auto-estrada com volume de tráfego constante;

r = código da auto-estrada;

c = classe do veículo: ligeiro de passageiros, ligeiro de mercadorias, etc.;

t = tecnologia do veículo: PRE-ECE, ECE, Euro I, Euro II, etc.;

f = tipo de combustível (gasolina, gasóleo ou GPL);

y = ano civil.



### 3.3.2 Rural e Urbano

As distâncias percorridas em modo rural e urbano foram nesta fase estimadas em quilómetros percorridos por veículo (km/veículo).

#### 3.3.2.1 Ligeiros de Passageiros

As distâncias percorridas nos modos de circulação rural e urbano foram estimadas a partir dos partir dos cenários de energia projectados pela DGGE para o sector dos transportes rodoviários (ver Tabela 3.7). Os cenários de mobilidade previstos pela DGGE decorrem da utilização do *Modèle de Demande Énergétique Européen* (MEDEE) que utiliza como principais variáveis de base a evolução macro-económica do Produto Interno Bruto (PIB) e do crescimento demográfico.

**Tabela 3.7 – Caracterização do sector dos transportes rodoviário em modo urbano e longa distância (Fonte: DGGE, 1999).**

|                                      | Unidade             | 1990 | 1995  | 2000  | 2005  |
|--------------------------------------|---------------------|------|-------|-------|-------|
| <b>Dados gerais</b>                  |                     |      |       |       |       |
| Utilização do transporte privado     | vkm/ano             | 9195 | 11302 | 13214 | 14794 |
| Número de veículos                   | 10 <sup>6</sup>     | 2144 | 2935  | 3532  | 4172  |
| <b>Transporte em Longa Distância</b> |                     |      |       |       |       |
| Taxa de ocupação                     | passageiros/veículo | 2,2  | 1,8   | 1,8   | 1,6   |
| Mobilidade individual                | pkm/ano             | 3300 | 3900  | 4300  | 5950  |
| <b>Transporte Urbano</b>             |                     |      |       |       |       |
| Taxa de ocupação                     | passageiros/veículo | 1,4  | 1,3   | 1,3   | 1,2   |
| Mobilidade individual                | pkm/ano             | 4300 | 5500  | 6500  | 6900  |

A desagregação da mobilidade nas classes de veículos utilizadas no cálculo de emissões foi realizada pelo Centro de Sistemas Urbanos e Regionais (CESUR). Os quilómetros percorridos no modo rural foram determinados subtraindo a distância percorrida em auto-estradas aos quilómetros percorridos em longa distância.

#### 3.3.2.2 Ligeiros de Mercadorias

Os dados relativos às distâncias percorridas por veículos de mercadorias encontra-se disponíveis no INE para o período compreendido entre 1990 e 2003. Contudo, a informação não se encontra claramente desagregada para veículos ligeiros de mercadorias; esta categoria está inserida na categoria veículos pesados com peso inferior a 7,5 t. Assim sendo, assumiu-se que

as distâncias percorridas por veículos ligeiros de mercadorias e veículos de mercadorias com peso inferior a 7,5 t seriam as mesmas. A actividade, em quilómetros por veículo, foi estimada dividindo, ano a ano, as distâncias percorridas pelo correspondente número de veículos registados no INE.

Assumiu-se ainda que entre 1990 e 1996 a actividade seria a mesma que em 1997 uma vez que não existem mais dados disponíveis.

Para 1995 existem dados no INE que permitem a desagregação entre circulação urbana e longa distância realizada por veículos de mercadorias. Assumiu-se a mesma distribuição para todos os anos em análise. A actividade em modo rural foi obtida subtraído a actividade em auto-estrada da actividade em longa distância.

Os dados da actividade dos veículos de mercadorias consideram apenas as frotas de veículos oficiais. Não foi possível obter dados de actividade sobre frotas privadas de veículos de mercadorias.

### **3.3.2.3 Veículos Pesados de Mercadorias**

A estimativa do número de veículos pesados de mercadorias e das distâncias percorridas seguiu o mesmo processo utilizado para os veículos ligeiros de mercadorias, descrito anteriormente.

### **3.3.2.4 Autocarros Urbanos e Regionais**

O número de autocarros e as distâncias percorridas encontram-se disponíveis no INE para o período compreendido entre 1997 e 2003 e desagregados pelo tipo de autocarro (*bus* e *coach*).

A distribuição dos veículos por idade realizou-se de acordo com o perfil de idades dos veículos pesados de mercadorias.

A actividade, em quilómetros por veículo, foi determinada para todos os modos de circulação. O modo rural foi estimado subtraindo as distâncias em auto-estrada aos quilómetros percorridos em longa-distância. Assumiu-se um valor médio de quilómetros percorridos por veículo obtido a partir dos dados de actividade de 1997 a 2003; este valor médio foi utilizado para o total do período em análise (1990 a 2003).

## **3.4 Velocidades**

As emissões de escape são fortemente dependentes do tipo de veículos e da sua velocidade de circulação. Assim sendo, a atribuição das velocidades foi efectuada para as três classes de circulação: auto-estrada, rural e urbano; para cada uma das classes foi atribuída uma

velocidade por tipo de veículo. Os dados sobre velocidades foram obtidos a partir dos valores estabelecidos no código da estrada e em caso-estudos. As velocidades assumidas para o cálculo das emissões apresentam-se na Tabela 3.8.

**Tabela 3.8 – Velocidade de circulação assumidas no cálculo de emissões.**

| Modo de Circulação | Tipo de Veículo        | Velocidade (km/h) | Fonte                            |
|--------------------|------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Auto-estrada       | Ligeiro de Passageiros | 124               | PNAC, 2003                       |
|                    | Ligeiro de Mercadorias | 124               | PNAC, 2003                       |
|                    | Pesado de Mercadorias  | 90                | Limite segundo Código da Estrada |
|                    | Autocarro ("Coach")    | 90                | Limite segundo Código da Estrada |
|                    | Motociclos             | 124               | PNAC, 2003                       |
| Rural              | Ligeiro de Passageiros | 70                | Limite segundo Código da Estrada |
|                    | Ligeiro de Mercadorias | 70                | Limite segundo Código da Estrada |
|                    | Pesado de Mercadorias  | 60                | Limite segundo Código da Estrada |
|                    | Autocarro ("Coach")    | 60                | Limite segundo Código da Estrada |
|                    | Ciclomotores           | 40                | Limite segundo Código da Estrada |
|                    | Motociclos             | 70                | Limite segundo Código da Estrada |
| Urbano             | Ligeiro de Passageiros | 24,9              | Gois <i>et al.</i> , 2005        |
|                    | Ligeiro de Mercadorias | 24,9              | Gois <i>et al.</i> , 2005        |
|                    | Pesado de Mercadorias  | 24,9              | Gois <i>et al.</i> , 2005        |
|                    | Autocarro ("Bus")      | 14,8              | Carris, 2005                     |
|                    | Autocarro ("Coach")    | 24,9              | Gois <i>et al.</i> , 2005        |
|                    | Ciclomotores           | 24,9              | Gois <i>et al.</i> , 2005        |
|                    | Motociclos             | 24,9              | Gois <i>et al.</i> , 2005        |

## 3.5 Consumo de Combustível

### 3.5.1 Auto-estrada

O consumo de combustível efectuado sob o modo de circulação em auto-estrada foi estimado a partir das distâncias percorridas, utilizando para tal os factores de consumo de combustível calculados de acordo com a metodologia EMEP/CORINAIR. O consumo de combustível em auto-estrada é dado pela seguinte equação:

$$AE_{FC(f,y)} = \sum_c \sum_t [AE_{Km(c,t,f,y)} \times FC_{(c,t,f,Hway)}] \times 10^{-6}$$

### Equação 3.4

Onde,

$AE_{FC(f,y)}$  = consumo de combustível do tipo f realizado em auto-estrada no ano y (t);

$AE_{km(c,t,f,y)}$  = total de quilómetros percorridos em auto-estrada pelos veículos de classe c, equipados com tecnologia t, que utilizam combustível do tipo f no ano y (km/ano);

$FC_{(c,t,f,Hway)}$  = factor de consumo de combustível em auto-estrada para veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f (g/km);

c = classe do veículo: ligeiro de passageiros, ligeiro de mercadorias, pesado de mercadorias, entre outros;

t = tecnologia do veículo: PRE-ECE, ECE, Euro I, Euro II, etc;

f = tipo de combustível (gasolina, gasóleo, GPL);

y = ano civil.

### 3.5.2 Rural e Urbano

O consumo de combustível nos modos rural e urbano pode ser obtido subtraindo o consumo em auto-estrada ao consumo total a nível nacional.

$$[Urbano_{FC(f,y)} + Rural_{FC(f,y)}] = Total_{FC(f,y)} - AE_{FC(f,y)}$$

### Equação 3.5

Onde:

$Urbano_{FC(f,y)}$ ,  $Rural_{FC(f,y)}$  = consumo de combustível do tipo f realizado em modo de circulação urbano e rural no ano y (t);

$AE_{FC(f,y)}$  = consumo de combustível f realizado em auto-estrada (t);

$Total_{FC(f,y)}$  = consumo total de combustível f realizado no ano y (t).

Contudo este passo não permite distinguir o consumo urbano do consumo rural. Assim sendo a estimativa do consumo de combustível nos modos rural e urbano foi realizada a partir das

distâncias percorridas por veículo (ver 3.3.2) e do número de veículos no parque automóvel de acordo com as seguintes equações:

$$\begin{aligned} Rural_{1stFC(c,t,f,y)} &= T_{classe(c,t,f,y)} \times Km_{rural(c,f,y)} \times FC_{(c,t,f,s)} \times 10^6 \\ Urbano_{1stFC(c,t,f,y)} &= T_{classe(c,t,f,y)} \times Km_{urbano(c,f,y)} \times FC_{(c,t,f,s)} \times 10^6 \end{aligned}$$

### Equação 3.6

Onde,

$Rural_{1stFC(c,t,f,y)}$ ,  $Urbano_{1stFC(c,t,f,y)}$  = consumo provisório de combustível f realizado por veículos de classe c, equipados com tecnologia t no ano y sob os modos de circulação rural e urbano (t);

$T_{classe(c,t,f,y)}$  = número de veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f no ano y;

$Km_{rural(c,f,y)}$ ,  $Km_{urbano(c,f,y)}$  = distâncias percorridas em modo rural e urbano por veículos de classe c, a combustível f no ano y (km/veículo);

$FC_{(c,t,f,s)}$  = factor de consumo de combustível do tipo f, para veículos de classe c, equipados com tecnologia t a uma velocidade média s (g/km).

O consumo de combustível assim estimado, aqui designado como consumo provisório, deverá ser ajustado de modo que o somatório dos consumos desagregados por cada um dos modos iguale o consumo real total, ou seja:

$$\left[ \sum_{c,t} Rural_{FC(c,t,f,y)} + \sum_{c,t} Urbano_{FC(c,t,f,y)} \right] + AE_{FC(f,y)} = Total_{FC(f,y)}$$

## 3.6 Ajuste do Consumo de Combustível

O ajuste do consumo de combustível é necessário uma vez que a estimativa do consumo de combustível (consumo provisório) não coincide com o consumo de combustível realizado a nível nacional. Deste modo é necessário aplicar um factor de ajuste ao consumo de combustível estimado para os modos rural e urbano. Este ajuste não se aplica ao consumo em auto-estrada uma vez que este foi estimado a partir dos dados de tráfego real observado em auto-estradas.

O factor de correcção do consumo de combustível é determinado para cada tipo de combustível e para cada um dos modos rural e urbano. O factor de correcção é dado pela Equação 3.7.

$$Correc_{Factor(f,y)} = \frac{[Total_{FC(f,y)} - AE_{FC(f,y)}]}{\sum_c \sum_t [Rural_{1stFC(c,t,f,y)} + Urbano_{1stFC(c,t,f,y)}]}$$

**Equação 3.7**

Os factores de correcção são depois aplicados ao consumo de combustível provisório de acordo com a equação seguinte.

$$Urban_{FC(f,y)} = Correc_{Factor(f,y)} \times \sum_c \sum_t [Urbano_{1stFC(c,t,f,y)}]$$

$$Rural_{FC(f,y)} = Correc_{Factor(f,y)} \times \sum_c \sum_t [Rural_{1stFC(c,t,f,y)}]$$

**Equação 3.8**

Esta correcção garante que as emissões são estimadas de acordo com as boas práticas, definidas pelo IPCC (IPCC, 2000; IPCC, 1996).

### 3.7 Dados de Actividade

Finalmente, a actividade, em quilómetros, é estimada de acordo com o consumo de combustível corrigido e desagregado por tipo de veículo segundo as equações seguintes:

$$Km_{urbano(c,t,f,y)} = \frac{[Urbano_{FC(c,t,f,y)} \times 10^6]}{FC_{(c,t,f,s)}}$$

$$Km_{rural(c,t,f,y)} = \frac{[Rural_{FC(c,t,f,y)} \times 10^6]}{FC_{(c,t,f,s)}}$$

$$Km_{total(c,t,f,y)} = Km_{AE(c,t,f,y)} + Km_{urbano(c,t,f,y)} + Km_{rural(c,t,f,y)}$$

**Equação 3.9**

Onde,

$Km_{total(c,t,f,y)}$ ,  $Km_{AE(c,t,f,y)}$ ,  $Km_{urbano(c,t,f,y)}$ ,  $Km_{rural(c,t,f,y)}$  = total da distância percorrida em cada um dos modos de circulação por veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f no ano y (km);

$Urbano_{FC(c,t,f,y)}$ ,  $Rural_{FC(c,t,f,y)}$  = consumo de combustível alocado a veículos de classe c, equipados com tecnologia t a combustível f no ano y para os modos de circulação rural e urbano (t);

$FC_{(c,t,f,s)}$  = factor de consumo de combustível para veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, para uma velocidade de circulação média s (g/km).

### 3.8 Factores de Emissão

A abordagem para a estimativa das emissões pode diferenciar-se segundo o tipo de poluentes a serem estimados:

- Poluentes cujas emissões podem ser estimadas recorrendo a um balanço de massa (por exemplo, o  $CO_2$ , o  $SO_x$  ou os metais pesados);
- Poluentes que devem ser estimados a partir das distâncias percorridas (por exemplo,  $NO_x$ , CO, COVNM,  $N_2O$  e  $NH_3$ ).

A abordagem recorrendo a um balanço de massas foi utilizada para os poluentes  $CO_2$ ,  $SO_x$  e metais pesados.

A emissão de  $CO_2$  é dada pela Equação 3.10.

$$U_{CO_2(y)} = \sum_c \sum_t \sum_d \sum_f [Comb_{FC(c,t,d,f,y)} \times EF_{CO_2(f)}] \times 10^{-3}$$

**Equação 3.10**

Onde,

$U_{CO_2(y)}$  = emissão total de  $CO_2$  no ano y (kt);

$Comb_{FC(c,t,d,f,y)}$  = consumo de combustível no ano y alocado aos veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, em modo de circulação d (t);

$EF_{CO_2(f)}$  = factor de emissão de  $CO_2$  (t/t).

O factor de emissão de dióxido de carbono deriva da expressão para a estimativa de emissão de  $CO_2$  a partir do consumo de combustível (FC) (EMEP, CORINAIR, 2002) dada por:

$$EF_{CO_2(f)} = \frac{44,011}{(12,011 + 1,008 \times R_{H/C})}$$

**Equação 3.11**

Sendo  $R_{H/C}$  a fracção de átomos de hidrogénio em relação aos átomos de carbono presentes no combustível.

**Tabela 3.9 – Valores de r de acordo com o tipo de combustível (Fonte: EMEP/CORINAIR, 2002).**

| Combustível | R <sub>H/C</sub> |
|-------------|------------------|
| Gasolina    | 1,80             |
| Gasóleo     | 2,00             |
| GPL         | 2,58             |

As emissão de SO<sub>x</sub> é também estimada recorrendo a um balanço de massa.

$$SO_{x(y)} = 2 \times \sum_c \sum_t \sum_d \sum_f [Comb_{FC(c,t,d,f,y)} \times S_{(f,y)} \times 10^{-2}]$$

**Equação 3.12**

Onde,

SO<sub>x (y)</sub> = emissão de óxidos de enxofre no ano y (t);

Comb<sub>FC(c,t,d,f,y)</sub> = consumo de combustível alocado a veículos de classe c, com tecnologia t, a combustível f, em modo de circulação d, no ano y (t);

S<sub>(f,y)</sub> = percentagem de enxofre no combustível (em termos de massa).

Para a estimativa das emissões de metais pesados o processo é semelhante.

$$Emissao_{HM(p,y)} = \sum_c \sum_t \sum_d \sum_f [Comb_{FC(c,t,d,f,y)} \times HM_{(f,y)} \times 10^{-6}]$$

**Equação 3.13**

Onde,

Emissao<sub>HM(p,y)</sub> = emissão de metal pesado p no ano y (t);

Comb<sub>FC(c,t,d,f,y)</sub> = consumo de combustível realizado no ano y por veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, em modo de circulação d (t);

HM<sub>(p,f,y)</sub> = quantidade de metal pesado p no combustível f (g/t).



Relativamente aos poluentes estimados a partir das distâncias percorridas, foi utilizada a seguinte abordagem:

$$Emissao_{(p,y)} = \sum_c \sum_t \sum_d \sum_f [Km_{(c,t,d,f,y)} \times EF_{(c,t,d,f,p)} \times 10^{-6}]$$

Onde,

$Emissao_{(p,y)}$  = emissão de poluente p no ano y (t);

$Km_{(c,t,d,f,y)}$  = distância percorrida em modo de circulação d, por veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, no ano y (km);

$EF_{(c,t,d,f,p)}$  = factor de emissão do poluente p para veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, em modo de circulação d (g/km).

### 3.8.1 Funções

Os factores de emissão para os poluentes  $NO_x$ , CO, COVNM,  $CH_4$ ,  $N_2O$  e  $NH_3$ , foram determinados de acordo com os algoritmos estabelecidos no EMEP/CORINAIR, 2002. O conjunto de algoritmos deriva da compilação realizada pelos programas CORINAIR85 e CORINAIR90, actualizados com os resultados do programa MEET e COST319. Os algoritmos permitem o calculo dos factores de emissão de acordo com as condições de circulação e com as propriedades dos veículos:

- Classe do veículo: ligeiro de passageiros, ligeiro de mercadorias, pesados de mercadorias, pesados de passageiros, ciclomotores e motociclos;
- Tipo de combustível: gasolina, gasóleo e GPL;
- Tecnologia;
- Dimensão do veículo; cilindrada para veículos ligeiros e veículos de duas rodas e; peso do veículo para veículos pesados de mercadorias;
- Velocidade media em cada modo de circulação.

Apesar do declive da estrada e do peso da carga transportada influenciarem de modo significativo as emissões dos veículos, em especial dos veículos pesados (Joumard, 2003), estas variáveis não foram consideradas devido à falta de dados para o cálculo. A quilometragem acumulada é também um parâmetro com uma influência significativa nas emissões de escape dos veículos, contudo, também não foi considerada devido à falta de dados necessários para o cálculo.

### 3.8.2 Factores de Emissão a Frio e a Quente

Os factores de emissão finais foram determinados em duas fases:

- Estimativa dos factores de emissão a quente: utilizados para a estimativa de emissões quando o veículo se encontra à temperatura normal de funcionamento;
- Estimativa dos factores de emissão a frio: que representam o excesso de emissão dos veículos enquanto a temperatura do motor do veículo<sup>13</sup> aumenta até se atingirem as condições normais.

O factor de emissão final ( $ef^T$ ) é então dado por:

$$ef_{(c,t,d,f,p)}^T = \frac{\sum_m \{ef_{(c,t,d,f,p)}^{quente} \times [1 + \beta_m \times (cf_{(c,t,d,f,p)}^{frio/quente} - 1)]\}}{12}$$

**Equação 3.14**

Onde,

$ef_{(c,t,d,f,p)}^T$  = factor de emissão final (frio e quente) de poluente p para veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, em modo de circulação d (g/km);

m = Mês;

$ef_{(c,t,d,f,p)}^{quente}$  = factor de emissão a quente, de poluente p, para veículos de classe c, equipados com tecnologia t, a combustível f, em modo de circulação d (g/km);

$\beta_m$  = valor médio mensal da fracção de quilometragem realizada a frio<sup>14</sup>.

$Cf_{(c,t,d,f,p)}^{frio/quente}$  = fracção das emissões a frio em relação às emissões a quente (g/g).

As correcções para as emissões a frio foram realizadas nos modos de circulação urbano e rural. No modo de circulação em auto-estrada não se consideram as emissões a frio.

---

<sup>13</sup> A temperatura abaixo da qual se considera o motor frio situa-se nos 70°C (EMEP/CORINAIR).

<sup>14</sup> O parâmetro  $\beta_m$  é determinado utilizando as temperaturas médias mensais  $T_a$  (°C) e a distância média dos percursos realizados (km/viagem).

O parâmetro  $T_a$ , necessário para o cálculo das emissões a frio, foi estimado para cada unidade territorial NUTIII ponderando-se a temperatura média a nível nacional com consumo de combustível realizado em cada um dos NUTIII. A temperatura média ponderada obtida para o cálculo foi de 15°C.

### 3.9 Emissões Evaporativas

A estimativa das emissões evaporativas foi realizada de acordo com a metodologia proposta no EMEP/CORINAIR, 2002.

Considera-se que as emissões evaporativas ocorrem apenas nos veículos a gasolina. No que concerne aos veículos ligeiros de passageiros a gasolina, são consideradas duas classes de tecnologia: *canister* e convencional. Não existem dados relativos à frota que permitam distinguir entre as duas tecnologias. Deste modo assumiu-se que os veículos construídos a partir de 1992 (ano de implementação da tecnologia Euro I) seriam equipados com *canister*. As classes de veículos utilizadas para o cálculo das emissões evaporativas encontram-se na Tabela 3.10. A frota de veículos para o cálculo foi obtida a partir do modelo KAR.

**Tabela 3.10 – Categorias j de veículos a gasolina.**

| Classe Veículo         | SNAP   | Combustível | Cilindrada   | Tecnologia      |
|------------------------|--------|-------------|--------------|-----------------|
| Ligeiro de Passageiros | 070101 | Gasolina    | < 1,4 l      | <i>Canister</i> |
| Ligeiro de Passageiros | 070102 | Gasolina    | 1,4 – 2,0 l  | <i>Canister</i> |
| Ligeiro de Passageiros | 070103 | Gasolina    | > 2,0 l      | <i>Canister</i> |
| Ligeiro de Passageiros | 070101 | Gasolina    | < 1,4 l      | Convencional    |
| Ligeiro de Passageiros | 070102 | Gasolina    | 1,4 – 2,0 l  | Convencional    |
| Ligeiro de Passageiros | 070103 | Gasolina    | > 2,0 l      | Convencional    |
| Ligeiro de Mercadorias | 070201 | Gasolina    |              | Convencional    |
| Ciclomotores           | 0704   | Gasolina    |              | Convencional    |
| Moto_2t                | 070501 | Gasolina    | > 50 cc      | Convencional    |
| Moto_4t                | 070503 | Gasolina    | 50 – 250 cc  | Convencional    |
| Moto_4t                | 070504 | Gasolina    | 250 – 750 cc | Convencional    |
| Moto_4t                | 070505 | Gasolina    | > 750 cc     | Convencional    |

O total de emissões evaporativas é obtido a partir da seguinte equação (adaptada de EMEP/CORINAIR, 2002):

$$Evap_{COVNM(y)} = \{365 \times [(a_j \times e^d) + S^c + S^{fi}] + R\} \times 10^{-6}$$

### Equação 3.15

Onde,

$Evap_{COVNM(y)}$  = emissões evaporativas de COVNM no ano y (t);

$a_j$  = número de veículos a gasolina de categoria j;

$e^d$  = factor de emissão médio de emissões diurnas (depende da temperatura média mensal, da variação de temperatura e da volatilidade do combustível (RVP) (g/dia);

$S^c$  = Emissões soak (quente e frio) de veículos a gasolina equipados com carburador (g/dia);

$S^{fi}$  = Emissões soak (quente e frio) de veículos a gasolina equipados com sistema de injeção (g/dia);

$R$  = perdas em circulação (frio e quente) (g).

e,

$$\begin{aligned} S^c &= (1 - q) \times (p \times x \times e^{s,quente} + w \times x \times e^{s,la}) \\ S^{fi} &= q \times e^{fi} \times x \\ R &= m_j \times (p \times e^{r,quente} + w \times e^{r,la}) \end{aligned}$$

### Equação 3.16 (Fonte: EMEP/CORINAI, 2002)

onde,

$q$  = fracção de veículos equipados com sistema de injeção de combustível;

$p$  = fracção de viagens terminadas com motor quente (depende da temperatura média mensal);

$w$  = fracção das viagens terminadas com motor frio (viagens mais curtas)<sup>15</sup>;

$x$  = número médio de viagens por dia (média de um ano);

$e^{s,quente}$  = factor de emissão media para emissões soak a quente (g/dia/veículo) (dependente da volatilidade do combustível, RVP);

---

<sup>15</sup> A fracção de viagens terminadas com motor a frio,  $w$ , relaciona-se com o parâmetro  $\beta$ , utilizado no cálculo dos factores de emissão a frio. Assume-se que  $w \approx \beta$ .

$e^{s,la}$  = factor de emissão médio de emissões *soak* com motor ligeiramente aquecido  
(dependente da temperatura média mensal e da volatilidade do combustível)  
(g/dia/veículo);

$e^{fi}$  = factor de emissão médio de emissões *soak* a quente para veículos a gasolina  
equipados com sistema de injeção;

$e^{r,quente}$  = factor de emissão médio para perdas em circulação com motor quente;

$e^{r,la}$  = factor de emissão médio para perdas em circulação com motor ligeiramente  
aquecido;

$m_j$  = quilometragem média anual relativa a veículos a gasolina de classe  $j$ .

Uma vez que não existe informação disponível relativa aos veículos equipados com sistema de injeção de combustível, considerou-se que todos os veículos a gasolina construídos a partir de 1997 (EURO II) se encontrariam equipados com sistema de injeção. Deste modo foi possível determinar a fracção de veículos a injeção no parque de veículos a gasolina. Os veículos de duas rodas foram considerados como não tendo sistema de injeção de combustível.

A fracção de viagens terminadas com motor quente,  $p$ , foi obtida a partir da fracção de viagens terminadas com motor frio,  $w$ , que se considera semelhante a  $\beta$ :

$$p = 1 - \left[ 0,647 - 0,025 \times l_{trip} - (0,00974 - 0,000385 \times l_{trip}) \times t_a \right]$$

### **Equação 3.17**

onde,

$p$  = fracção de viagens terminadas com motor quente;

$t_a$  = temperatura ambiente;

$l_{trip}$  = distância média por viagem (12 km)<sup>16</sup>.

As distâncias percorridas, em quilómetros por veículos, foi determinada para cada um veículos de categoria  $j$  (ver Tabela 3.10) de acordo com a equação seguinte:

---

<sup>16</sup> O  $l_{trip}$  utilizado foi o proposto na metodologia EMEP/CORINAIR, 2002.

$$V_{i(c,t,y)} = \frac{Km_{(c,t,y)}}{N_{(c,t,y)}}$$

**Equação 3.18**

Onde,

$V_{j(c,t,y)}$  = distância percorrida, em quilómetros por veículo, para veículos de classe c, equipados com tecnologia t no ano y (km/veículo);

$Km_{(c,t,y)}$  = total de quilómetros percorridos em todos os modos de circulação por veículos de classe c, equipados com tecnologia t no ano y (km);

$N_{(c,t,y)}$  = número de veículos de classe c, equipados com tecnologia t no ano y

O número médio de viagens por dia (x) pode seguidamente ser calculado de acordo com:

$$x = \frac{V_i}{365 \times l_{trip}}$$

**Equação 3.19**

O cálculo das emissões evaporativas foi realizado tendo ainda em conta as seguintes considerações:

- Os factores de emissão para veículos de duas rodas baseiam-se nos factores de emissão para os veículos ligeiros de passageiros a gasolina considerando uma redução de 80% para os ciclomotores e 60% para os motociclos (EMEP/CORINAIR; 2002);
- A temperatura média utilizada para o cálculo foi ponderada com os consumos de combustível de gasolina para cada NUT III. Foram calculadas temperaturas médias para os anos 1990, 1996 e 2000, utilizando-se uma interpolação das temperaturas para os anos intermédios (Tabela 3.11);
- A distância média das viagens foi estabelecida em 12 km (ltrip) o que resulta num factor  $\beta$  de 0,267, valor que foi assumido também para w (fracção de viagens terminadas com motor frio) de acordo com o proposto pela metodologia EMEP/CORINAIR;
- A volatilidade do combustível baseia-se nos valores estabelecidos na legislação nacional (ver Tabela 2.9);

**Tabela 3.11 – Temperaturas médias utilizadas no cálculo das emissões evaporativas.**

| 1990      | 1996      | 2000      |
|-----------|-----------|-----------|
| 14,836 °C | 14,874 °C | 14,885 °C |

### 3.10 Alocação Espacial

No âmbito do presente estudo foi desenvolvida uma metodologia para a alocação espacial das emissões do transporte rodoviário. A metodologia pode ser sumarizada de acordo com a Equação 3.20.

$$E_{(i,j)} = AP_j \times E_{T(i)}$$

**Equação 3.20**

Onde:

$E_{(i,j)}$  = emissões estimadas do poluente i para a área/linha j;

$AP_i$  = parâmetro de alocação para a área/linha j;

$E_{T(i)}$  = emissões totais do poluente i.

Na presente metodologia, as emissões do transporte rodoviário distinguem-se entre emissões em área e emissões em linha.

O tráfego rodoviário em auto-estrada foi identificado como fonte em linha. Para cada uma das fontes em linha que definem os sub-lanços das auto-estradas foram determinados os parâmetros de alocação a partir dos dados de tráfego. A resolução espacial das emissões em auto-estrada é relativamente elevada pois as infra-estruturas encontram-se devidamente geo-referenciadas de acordo com os dados do IEP.

Os parâmetros de alocação para cada um dos lanços de auto-estrada foram estimados para todos os anos (1990 a 2003) a partir dos dados de contagens de tráfego disponíveis no IEP, de acordo com a Equação 3.21.

$$AP_{H(l,y)} = \frac{vkm_{(l,y)}}{\sum_l vkm_{(l,y)}}$$

**Equação 3.21**

Onde,

$$vkm_{(l,y)} = TMD_{(l,y)} \times \frac{Comprimento_{(l)}}{1000} \times 365$$

**Equação 3.22**

Onde,

$AP_{H(l,y)}$  = parâmetro de alocação para o sub-lanço l no ano y;

$vkm_{(l,y)}$  = veículos.kilómetros registados no sub-lanço l no ano y;

$TMD_{(l,y)}$  = tráfego médio diário no sub-lanço l para o ano y;

$Comprimento_{(l)}$  = comprimento do sub-lanço l (m).

O tráfego rural e urbano foi classificado como fonte em área e corresponde ao total do tráfego excepto o realizado em auto-estrada. Para a alocação das emissões do tráfego urbano e rural foi também necessária a determinação dos parâmetros de alocação.

Os parâmetros de alocação para os modos rural e urbano foram estimados a partir dos dados de população ao nível da freguesia considerado urbano as freguesias com densidade populacional maior ou igual a 500 hab/km<sup>2</sup> e rural as freguesias com densidade populacional menor que 500 hab/km<sup>2</sup>. O parâmetro de alocação para as fontes em área é então dado por:

$$AP_{U(f1)} = \frac{Pop_{(f1)}}{\sum_{f1} Pop_{(f1)}}$$

**Equação 3.23**

$$AP_{R(f2)} = \frac{Pop_{(f2)}}{\sum_{f2} Pop_{(f2)}}$$

**Equação 3.24**



Onde:

$AP_{U(f1)}$  = parâmetro de alocação para as emissões em modo urbano;

$AP_{R(f2)}$  = parâmetro de alocação para as emissões em modo rural;

$Pop_{(f1)}$  = população nas freguesias f1;

$Pop_{(f2)}$  = população nas freguesias f2;

f1 = freguesia com densidade populacional  $\geq 500$  hab/km<sup>2</sup>;

f2 = freguesia com densidade populacional  $< 500$  hab/km<sup>2</sup>.

Após a alocação, os resultados das emissões foram agregados ao nível do concelho. As emissões do concelho correspondem ao somatório das emissões das freguesias pertencentes ao concelho com as emissões relativas aos troços de auto-estrada que atravessam o concelho.

A determinação das emissões relativas ao tráfego em auto-estradas de um concelho em particular baseia-se no comprimento de cada troço dentro desse concelho. A determinação das emissões relativas aos troços de auto-estrada dentro dos concelhos foi realizado de acordo com a Equação 3.25.

$$E_{H(i,c)} = \sum_{(l,c)} E_{H(i,l)} \times \frac{\text{Comprimento}_{(l,c)}}{\text{Comprimento}_{(l)}}$$

**Equação 3.25**

Onde:

$E_{H(i,c)}$  = emissão do poluente i relativa ao tráfego em auto-estrada no concelho c;

$E_{H(i,l)}$  = emissão do poluente i relativa ao tráfego realizado no sub-lanço de auto-estrada l;

$\text{Comprimento}_{(l,c)}$  = comprimento do sub-lanço l no concelho c;

$\text{Comprimento}_{(l)}$  = comprimento total do sub-lanço l.

### 3.11 Alocação Temporal

A alocação temporal das emissões é um processo fundamental na inventariação das emissões. Este processo permite a distribuição das emissões de acordo com um determinado intervalo temporal. A alocação temporal assume especial importância na aplicação dos inventários aos modelos de qualidade do ar uma vez que o período em que ocorrem as emissões é determinante na química da atmosfera.

Por exemplo, durante o período do nascer do dia/início da manhã, é frequente a ocorrência de uma camada de inversão na qual são emitidas quantidades significativas de emissões provenientes do tráfego de transportes de mercadorias em direcção às grandes cidades. Este perfil de emissão pode ser completamente diferente entre os dias de semana e os fins de semana. A variação do perfil temporal de emissões pode, por exemplo, alterar o equilíbrio entre as concentrações de  $\text{NO}_x$  e COV que são parâmetros chave na formação de ozono troposférico.

A alocação temporal deve ser realizada para períodos temporais relativamente pequenos e de acordo com o tipo de veículo uma vez que podem surgir diferenças significativas no perfil temporal e nos factores de emissão entre tipos de veículos.

A alocação temporal realiza-se recorrendo a curvas temporais estandardizadas relativas à actividade da fonte de emissão. As emissões são então multiplicadas pelo parâmetro de distribuição obtido a partir da curva temporal. Deste modo é possível estimar as emissões para um intervalo de tempo específico (mês, dia, hora, etc.) a partir das emissões anuais.

As curvas temporais para as emissões realizadas em modo auto-estrada derivam dos dados das contagens de tráfego. Dado que a resolução das curvas temporais depende da resolução dos dados de tráfego, as curvas temporais para a alocação das emissões em auto-estrada foram realizadas com uma resolução mensal.

A alocação temporal das emissões em modo rural e urbano é fundamental dada a sua contribuição para o total das emissões. No entanto, não foi possível proceder à alocação temporal das emissões em modo rural e urbano por não existirem os dados necessários. Para tal seriam necessárias, pelo menos, as contagens de tráfego no tecido urbano das principais cidades e das principais vias de comunicação a nível nacional.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dados de Actividade

#### 4.1.1 Frota de Veículos

O número de veículos existentes na frota para cada um dos anos compreendidos entre 1990 e 2003 foi estimado a partir dos dados da ACAP, INE e ISP.

Os dados do número de veículos foram adaptados de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 3. A frota nacional de veículos apresenta-se na Figura 4.1.

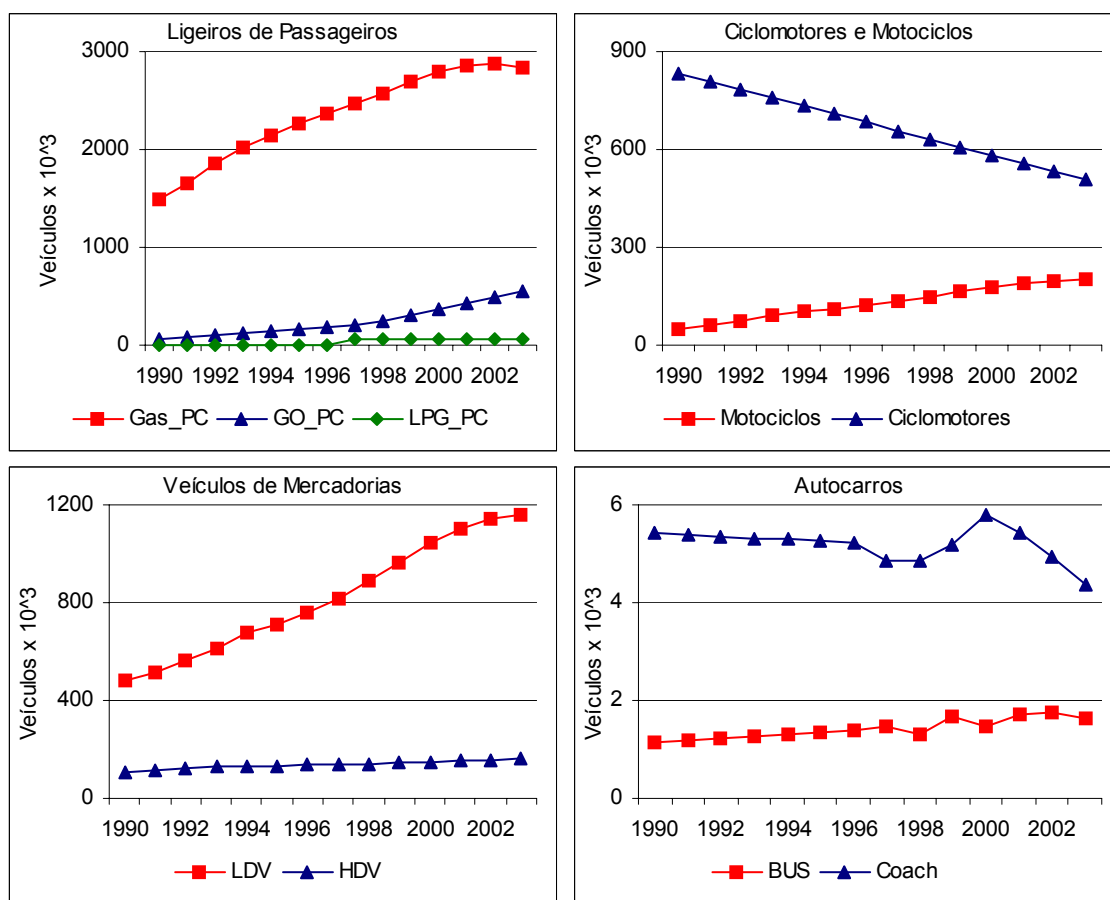


Figura 4.1 – Frota de veículos: 1990-2003<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Gas\_PC: veículos ligeiros de passageiros a gasolina; GO\_PC: veículos ligeiros de passageiros a gasóleo; LPG\_PC: veículos ligeiros de passageiros a GPL; LDV: veículos ligeiros de mercadorias; HDV: veículos pesados de mercadorias; BUS: autocarros urbanos; Coach: autocarros regionais.

Da Figura 4.1 destaca-se a diminuição na taxa de crescimento dos veículos a gasolina ao longo tempo e o aumento da taxa de crescimento dos veículos de passageiros a gasóleo. Os veículos ligeiros de passageiros a GPL representam uma pequena percentagem em relação aos restantes veículos de passageiros e apresentam uma taxa de crescimento pouco significativa.

No que concerne a veículos pesados de passageiros, verificam-se variações bruscas a partir de 1998. Contudo, estes dados estão de acordo com as estatísticas apresentadas pelo INE relativas ao transporte rodoviário de passageiros.

Regista-se ainda uma diminuição constante do número de ciclomotores (*mopeds*) o que está de acordo com os dados do ISP.

#### **4.1.2 Velocidade de Circulação**

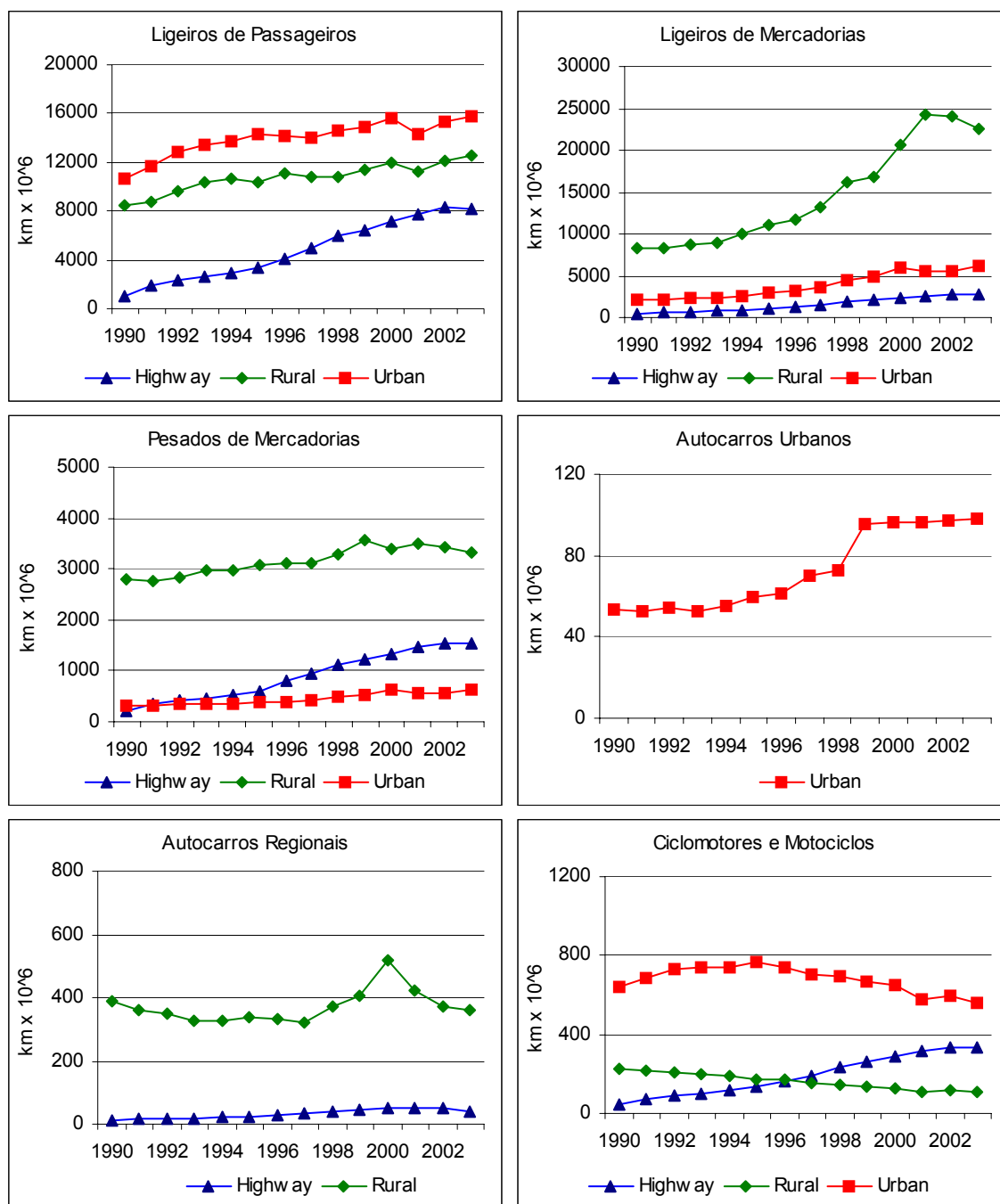
As velocidades de circulação assumidas para o cálculo são as presentes na Tabela 3.8.

#### **4.1.3 Distâncias Percorridas**

As distâncias percorridas foram estimadas de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 3. Os dados de tráfego foram obtidos no IEP que é a entidade responsável pela compilação dos dados enviados pelos concessionários das auto-estradas.

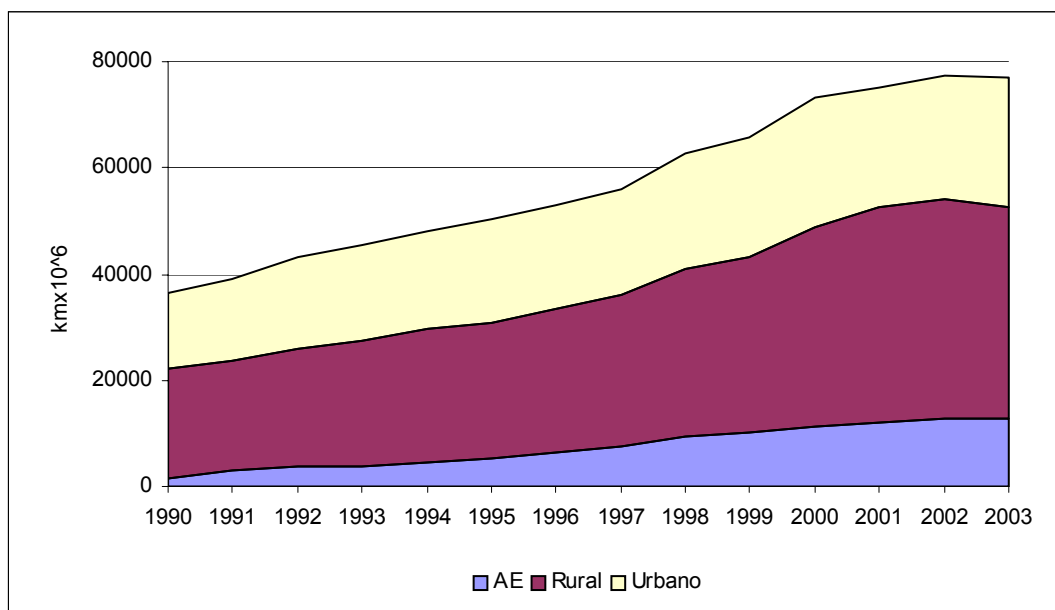
O tráfego em auto-estradas regista um aumento constante entre 1990 e 2002. Para o período compreendido entre 1990 e 2003 o tráfego rodoviário em auto-estrada aumenta 7,8 vezes o que reflecte não só o aumento do número de infra-estruturas mas também o aumento da intensidade de utilização. Durante o mesmo período o tráfego rural e o tráfego urbano aumentaram 2,0 e 1,6 vezes, respectivamente.

Em termos globais, o tráfego rodoviário aumentou cerca de 110,7% desde 1990. Contudo, entre 2002 e 2003 registou-se uma ligeira diminuição no tráfego rodoviário em cerca de 0,47% o que se deverá, entre outras razões, ao aumento do preço dos combustíveis.



**Figura 4.2 – Distâncias percorridas.**

As distâncias percorridas em modo rural são responsáveis por 51,6% do total de quilómetros percorridos em 2003 enquanto que as distâncias percorridas em modo urbano e auto-estrada são responsáveis por, respectivamente, 37,1% e 16,7%, para o mesmo ano (ver Figura 4.3 e Tabela 4.1).

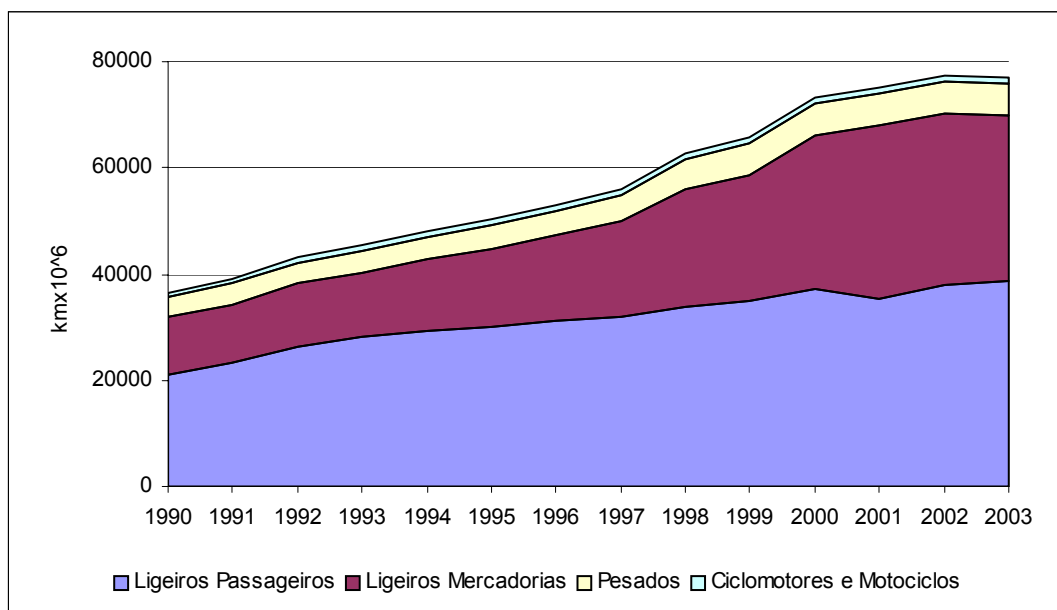


**Figura 4.3 – Quilômetros percorridos por modo de circulação**

As distâncias percorridas aumentaram para todos os tipos de veículos entre o período 1990 – 2003. O maior aumento ocorreu para os veículos ligeiros de mercadorias; entre 1990 e 2003 estima-se que as distâncias percorridas por este tipo de veículos tenha aumentado em cerca de 192%. Ainda assim, os veículos ligeiros de passageiros são aqueles que registam o maior número de quilômetros percorridos sendo responsáveis por 50,2% da distância total percorrida em 2003 (Figura 4.4).

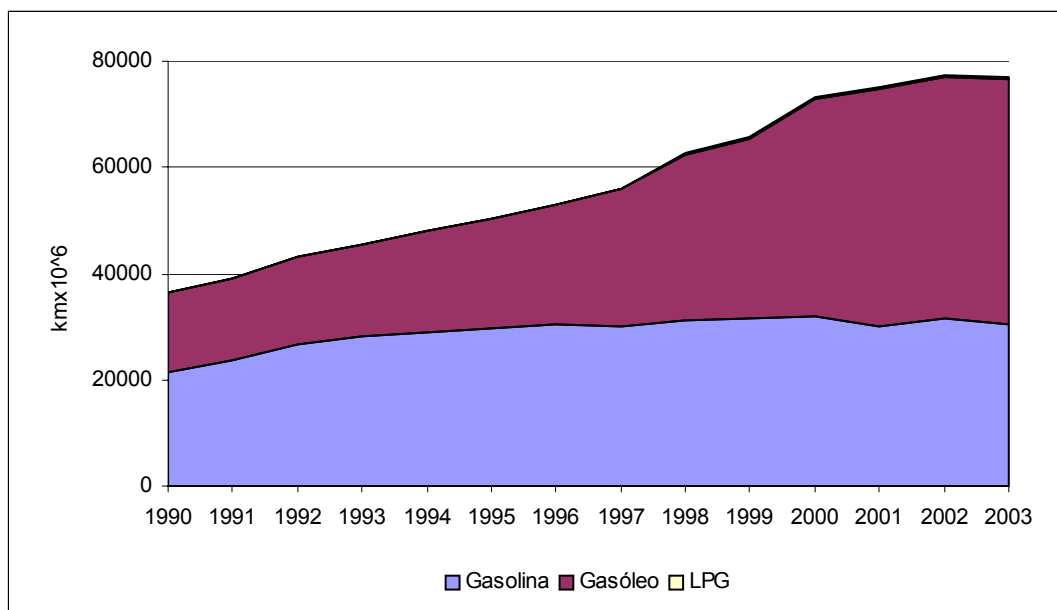
**Tabela 4.1 – Quilómetros percorridos (km×10<sup>6</sup>)**

| Classe                  | Modo         | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  |
|-------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ligeiros de Passageiros | Auto-estrada | 1063  | 1863  | 2362  | 2603  | 2974  | 3355  | 4027  |
| Ligeiros de Passageiros | Rural        | 8477  | 8692  | 9626  | 10313 | 10669 | 10370 | 11058 |
| Ligeiros de Passageiros | Urbano       | 10619 | 11626 | 12889 | 13396 | 13661 | 14339 | 14152 |
| Ligeiros de Mercadorias | Auto-estrada | 328   | 555   | 681   | 747   | 877   | 985   | 1193  |
| Ligeiros de Mercadorias | Rural        | 8288  | 8259  | 8807  | 9038  | 10097 | 10970 | 11629 |
| Ligeiros de Mercadorias | Urbano       | 2102  | 2143  | 2304  | 2366  | 2655  | 2900  | 3109  |
| Pesados de Mercadorias  | Auto-estrada | 208   | 340   | 423   | 459   | 522   | 580   | 791   |
| Pesados de Mercadorias  | Rural        | 2793  | 2767  | 2843  | 2960  | 2972  | 3087  | 3118  |
| Pesados de Mercadorias  | Urbano       | 310   | 319   | 334   | 347   | 355   | 374   | 398   |
| Autocarros Urbanos      | Auto-estrada | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Autocarros Urbanos      | Rural        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Autocarros Urbanos      | Urbano       | 53    | 53    | 54    | 53    | 55    | 59    | 62    |
| Autocarros Regionais    | Auto-estrada | 11    | 16    | 19    | 19    | 21    | 23    | 29    |
| Autocarros Regionais    | Rural        | 389   | 360   | 351   | 329   | 329   | 338   | 330   |
| Autocarros Regionais    | Urbano       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Ciclomotores            | Auto-estrada | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Ciclomotores            | Rural        | 218   | 203   | 195   | 185   | 173   | 155   | 151   |
| Ciclomotores            | Urbano       | 626   | 674   | 715   | 725   | 721   | 746   | 717   |
| Motociclos              | Auto-estrada | 42    | 73    | 92    | 102   | 117   | 132   | 158   |
| Motociclos              | Rural        | 9     | 10    | 12    | 14    | 15    | 15    | 17    |
| Motociclos              | Urbano       | 11    | 13    | 16    | 18    | 20    | 21    | 21    |
| Classe                  | Modo         | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
| Ligeiro de Passageiros  | Auto-estrada | 4907  | 5986  | 6474  | 7114  | 7761  | 8260  | 8186  |
| Ligeiro de Passageiros  | Rural        | 10771 | 10862 | 11367 | 12024 | 11179 | 12046 | 12530 |
| Ligeiro de Passageiros  | Urbano       | 14058 | 14627 | 14901 | 15584 | 14379 | 15276 | 15723 |
| Ligeiros de Mercadorias | Auto-estrada | 1472  | 1845  | 2025  | 2310  | 2569  | 2754  | 2754  |
| Ligeiros de Mercadorias | Rural        | 13231 | 16210 | 16818 | 20727 | 24272 | 24134 | 22454 |
| Ligeiros de Mercadorias | Urbano       | 3543  | 4412  | 4879  | 6035  | 5494  | 5460  | 6094  |
| Pesados de Mercadorias  | Auto-estrada | 938   | 1127  | 1213  | 1333  | 1455  | 1543  | 1539  |
| Pesados de Mercadorias  | Rural        | 3099  | 3304  | 3565  | 3406  | 3504  | 3435  | 3314  |
| Pesados de Mercadorias  | Urbano       | 417   | 487   | 523   | 619   | 559   | 559   | 627   |
| Autocarros Urbanos      | Auto-estrada | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Autocarros Urbanos      | Rural        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Autocarros Urbanos      | Urbano       | 70    | 72    | 96    | 97    | 97    | 97    | 98    |
| Autocarros Regionais    | Auto-estrada | 33    | 39    | 43    | 52    | 51    | 48    | 42    |
| Autocarros Regionais    | Rural        | 323   | 369   | 406   | 517   | 420   | 371   | 361   |
| Autocarros Regionais    | Urbano       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Ciclomotores            | Auto-estrada | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Ciclomotores            | Rural        | 136   | 125   | 116   | 109   | 93    | 94    | 88    |
| Ciclomotores            | Urbano       | 686   | 676   | 646   | 627   | 552   | 571   | 531   |
| Motociclos              | Auto-estrada | 193   | 238   | 258   | 286   | 313   | 334   | 332   |
| Motociclos              | Rural        | 17    | 17    | 18    | 19    | 18    | 20    | 20    |
| Motociclos              | Urbano       | 22    | 23    | 24    | 25    | 24    | 26    | 26    |



**Figura 4.4 – Quilômetros percorridos por tipo de veículo.**

A distância percorrida por veículos a gásóleo registou um aumento muito significativo desde 1990, cerca de 203,9%. Por sua vez, as distâncias percorridas por veículos a gasolina registraram aumentos mais ligeiros, 43,0% no total desde 1990.



**Figura 4.5 – Quilômetros percorridos por tipo de combustível.**



#### 4.1.4 Consumo de Combustível

Os dados do consumo do combustível no sector rodoviário para o período 1990-2003 foi obtido nos balanços energéticos da DGGE. A Figura 4.6 apresenta os consumos de gasolina, gasóleo e GPL para o período considerado.

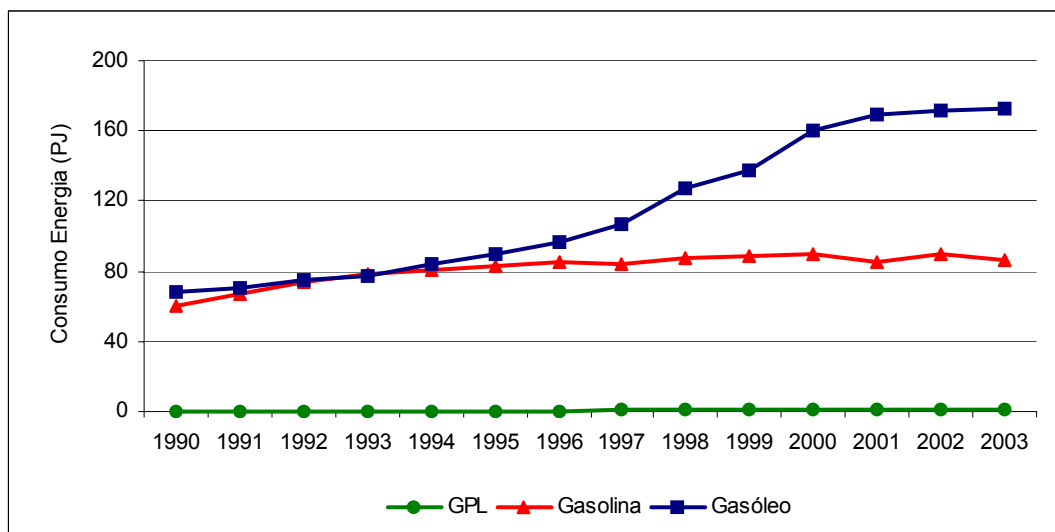


Figura 4.6 – Consumo de combustível no sector rodoviário.

Os dados de base são fornecidos em unidades de energia tendo sido convertidos para massa utilizando os valores de poder calorífico fornecidos também pela DGGE.

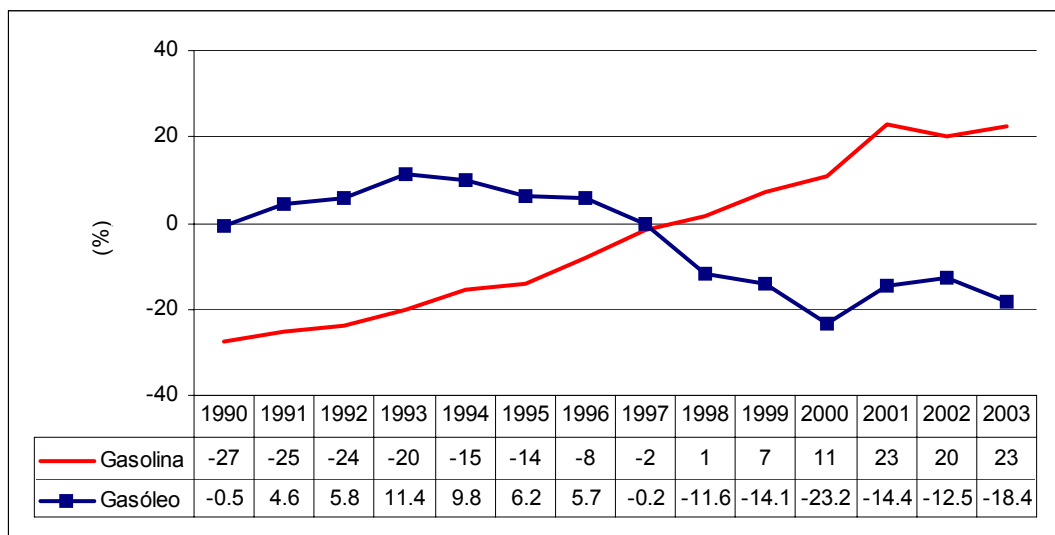
Tabela 4.2 – Poder calorífico dos combustíveis.

| Combustível | tep/t | MJ/kg |
|-------------|-------|-------|
| Gasóleo     | 1,035 | 43,31 |
| Gasolina    | 1,070 | 44,77 |
| GPL         | 1,130 | 47,28 |

O consumo real de combustível apresentado na Figura 4.6 foi comparado com o consumo estimado a partir dos factores de consumo que resultam da aplicação da metodologia EMEP/CORINAIR, 2002. As diferenças entre o consumo estimado e o real podem dar indicações sobre a eficácia de modelo utilizado para cálculo.

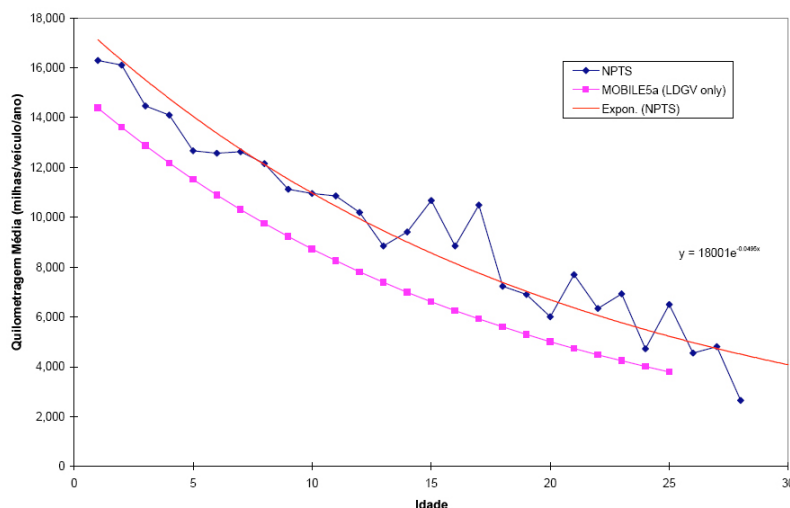
O consumo de combustível estimado varia entre  $\pm 30\%$  em relação ao consumo de combustível real para todo o período em análise. Foram obtidas estimativas muito próximas do real no ano de 1997, onde o consumo estimado de gasolina e gasóleo difere apenas -2% e 0,2% do real, respectivamente (Figura 4.7).

Contudo, a tendência da diferença entre o consumo estimado e o real sugere a presença de um erro sistemático. Este erro poderá estar associado à actividade dos veículos ligeiros de passageiros que serviu de variável de entrada para o modelo.



**Figura 4.7 – Diferença percentual do consumo estimado em relação ao real.**

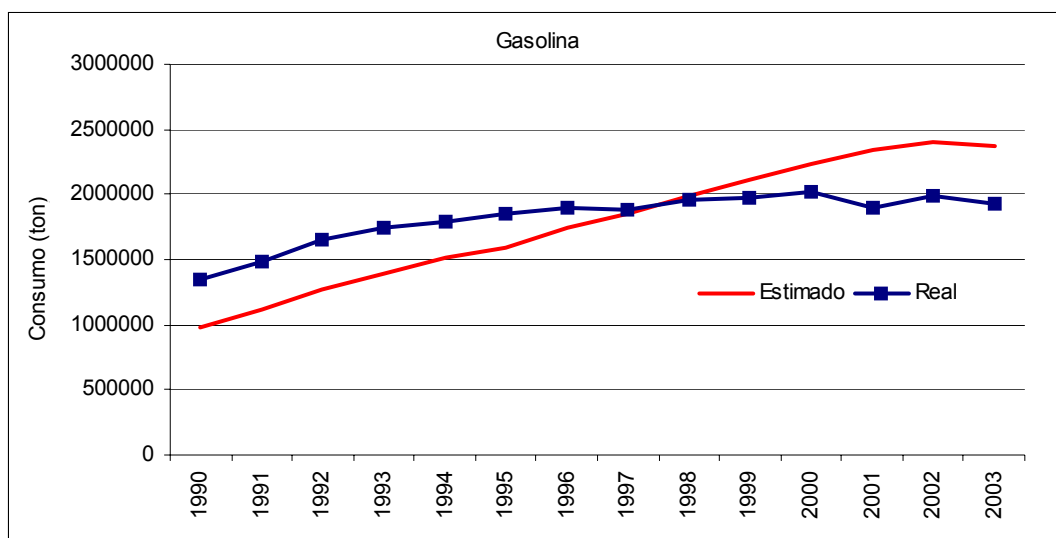
Uma vez que a variável de actividade para os veículos é dada em quilómetros percorridos por veículo (km/veículo), um aumento do número de veículos leva a uma aumento directamente proporcional do número de quilómetros percorridos o que pode não corresponder à verdade. Acima de um determinado número de veículos é de esperar uma tendência para diminuir da variável km/veículo. Por outro lado, na estimativa do consumo considera-se que a distância percorrida por tipo de veículo não varia com a sua idade o que também não é correcto. É natural que, em termos médios, os veículos mais antigos não percorram tantos quilómetros em comparação com veículos mais recentes. Veja-se, por exemplo, o perfil de utilização de veículos ligeiros considerado no modelo *MOBILE 6* desenvolvido pela Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos da América.



**Figure 4.1 – Quilometragem média anual considerada no modelo MOBILE 6 (Fonte: USEPA, 1997)**

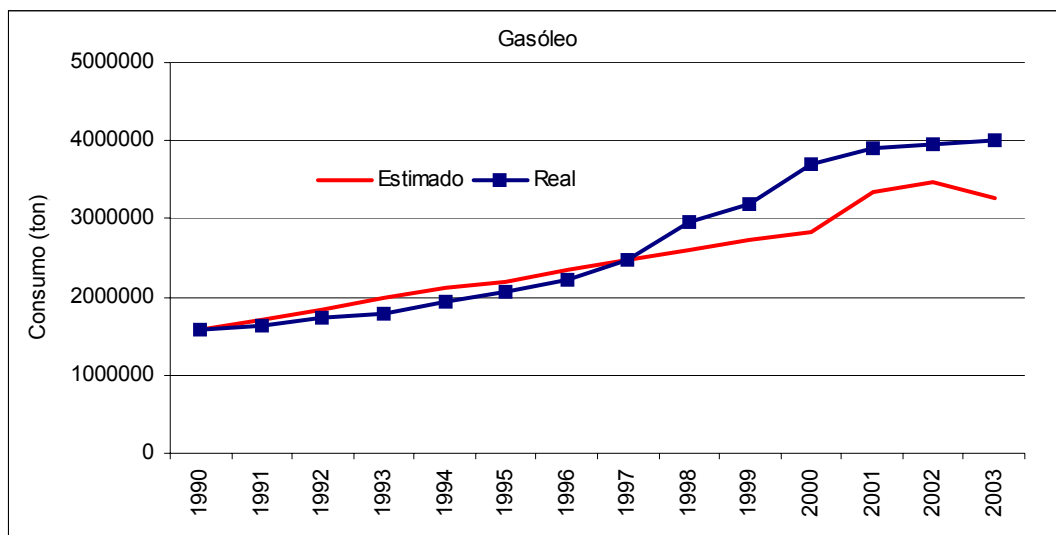
Considerando que se trata de um inventário de emissões e que neste sentido a avaliação incide sobre períodos de tempo passados, a variável de actividade para os veículos ligeiros de passageiros, actualmente obtida a partir dos cenários de energia da DGGE, deverá ser estimada utilizando uma metodologia alternativa que leve à melhoria da eficácia do modelo. A utilização dos dados reais de distância percorrida recolhidos nos centros de inspecção de veículos deverá ser a forma mais adequada de estimar a variável km/veículo.

Na Figura 4.8 e Figura 4.9 apresenta-se, separadamente, a comparação entre consumo real e o consumo estimado para a gasolina e gasóleo.



**Figura 4.8 – Consumo de gasolina estimado e real.**

O consumo de gasóleo estimado e real mantém-se semelhante entre 1990 e 1997. A partir daí o consumo real de gasóleo é superior ao consumo estimado o que indica que a actividade real dos veículos a gasóleo passa a ser superior à estimada.

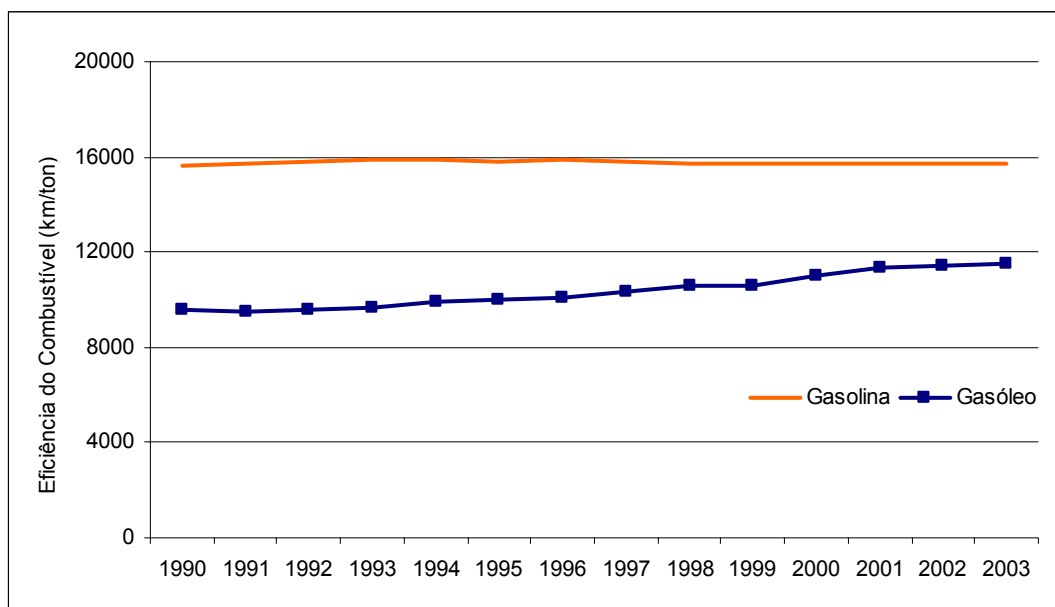


**Figura 4.9 – Consumo de gasóleo estimado e real.**

#### **4.1.4.1 Quilómetros Percorridos vs Consumo de Combustível**

Se comparar-mos o crescimento entre o consumo de gasóleo e as distâncias percorridas por veículos a gasóleo, verificamos que não são directamente proporcionais. De facto, as distâncias percorridas aumentam mais do que o consumo de gasóleo no período 1990-2003: as distâncias percorridas por veículos a gasóleo aumentou 203,9%; o consumo de combustível aumentou 153,5%. A diferença na taxa de crescimento está associada a uma melhoria na eficiência do consumo de combustível, isto é, os veículos a gasóleo estão a percorrer mais quilómetros com o mesmo combustível.

No entanto, em relação aos veículos a gasolina, a melhoria na eficiência do consumo de combustível não é tão evidente como seria de esperar (Figura 4.10). Deveria ser esperado um crescimento nas distâncias percorridas mais acentuado que no consumo de combustível, à medida que veículos com novas tecnologias e mais económicos entram no mercado. O crescimento das distâncias percorridas foi cerca de 43% e do consumo de gasolina foi também de 43%. Ou seja, não são verificadas diferenças entre as distâncias percorridas em 1990 e em 2003 para uma mesma quantidade de combustível. Ao contrário do que aconteceu com o gasóleo, a eficiência da gasolina não regista alterações significativas desde 1990.



**Figura 4.10 – Eficiência do consumo de combustível**

A evolução da eficiência da gasolina deriva sobretudo:

- da evolução do parque automóvel e;
- das condições de circulação (por exemplo, a velocidade) assumidas para a determinação dos factores de consumo a partir dos quais são estimadas as distâncias percorridas.

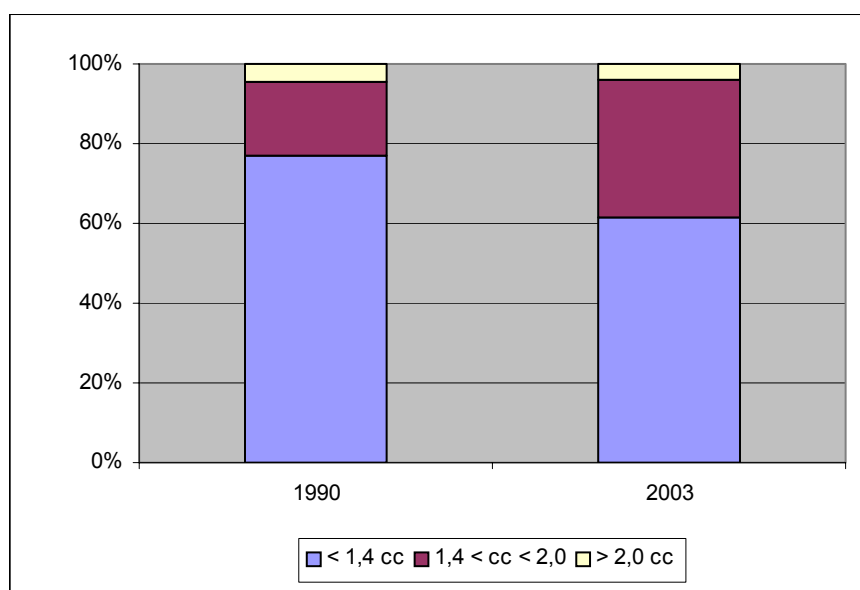
A tendência observada na eficiência do consumo de gasolina poderá dever-se sobretudo ao facto de se ter considerado que a quilometragem média anual dos veículos não varia com a idade fazendo com que a fracção de quilómetros percorridos por veículos mais antigos e menos económicos aumente em detrimento dos veículos mais recentes.

Por outro lado, apesar da introdução de veículos com novas tecnologias e à partida mais eficientes no que concerne ao consumo de combustível, têm-se verificado simultaneamente um crescimento mais acentuado nas vendas de veículos com maior cilindrada e que apresentam consumos de combustível mais elevados por distância percorrida (ver Tabela 4.3)

**Tabela 4.3 – Consumo de gasolina, em l/100km, para veículos ligeiros de passageiros a gasolina para o ano de 2003.**

| Cilindrada     | l/100km |
|----------------|---------|
| < 1,4 cc       | 7,59    |
| 1,4 < cc < 2,0 | 9,27    |
| > 2,0          | 11,29   |

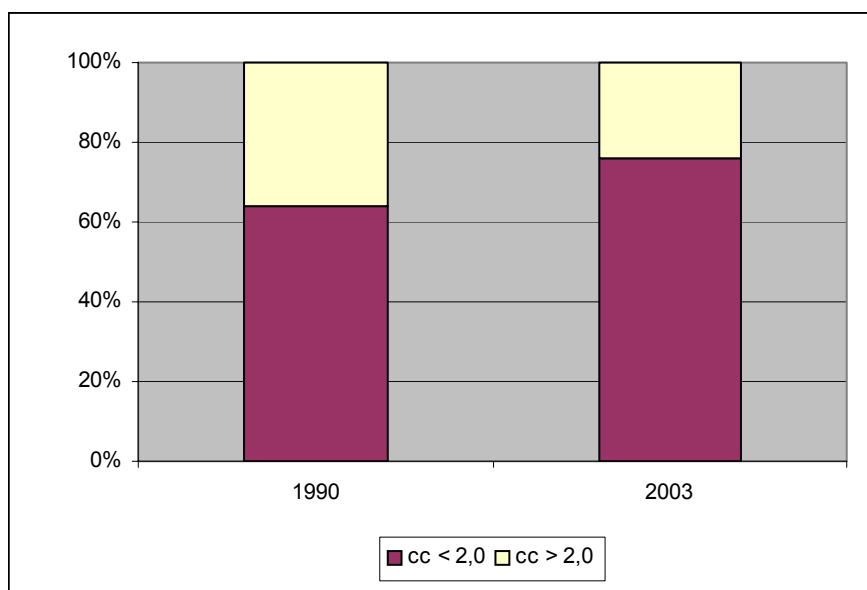
De facto, regista-se uma re-distribuição das distâncias percorridas por classe de cilindrada entre 1990 e 2003 que resulta da evolução do parque automóvel. Veja-se por exemplo a percentagem da distância percorrida por cada uma das classes de cilindrada de veículos ligeiros de passageiros a gasolina (Figura 4.11). De 1990 para 2003 houve um aumento significativo da distância percorrida por veículos a gasolina de cilindrada 1,4 < cc < 2,0 e uma diminuição da distância percorrida por veículos com cilindrada inferior a 1,4 cc.



**Figura 4.11 – Distribuição por cilindrada das distâncias percorridas por veículos ligeiros de passageiros a gasolina.**

Em relação aos veículos de passageiros a gasóleo, apenas são consideradas, para efeitos de cálculo de emissões e de consumo de combustível, as classes menor que 2,0 cc e maior que 2,0 cc.. Em 1990 a classe de cilindrada menor que 2,0 cc. representa mais de 60% da distância percorrida e este valor aumentou para perto de 80% em 2003. Apesar dos veículos ligeiros de mercadorias a gasóleo serem os mais importantes em termos de consumo global de gasóleo,

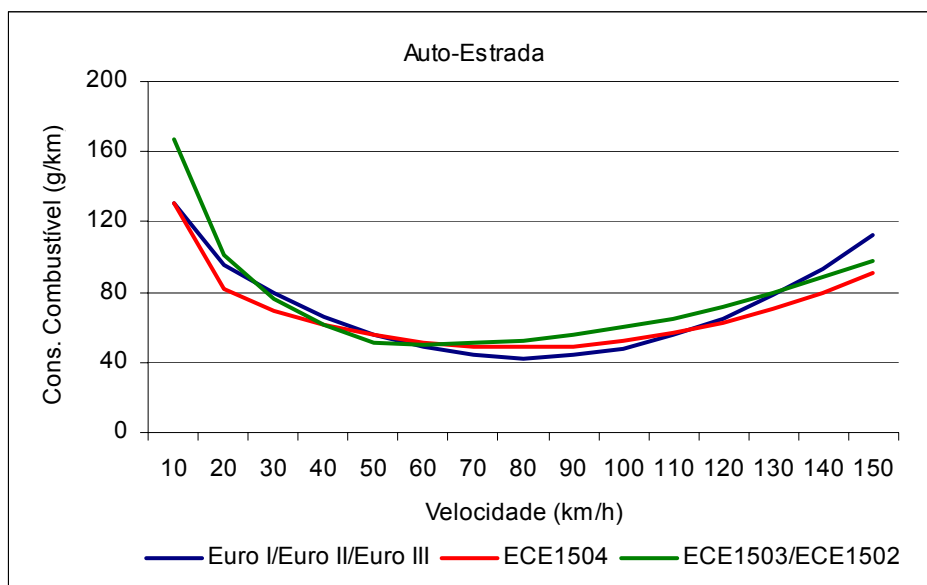
não é possível efectuar uma análise por classe de cilindrada uma vez que esta variável não é considerada para o cálculo quer do consumo quer das emissões (ver Tabela 3.1).



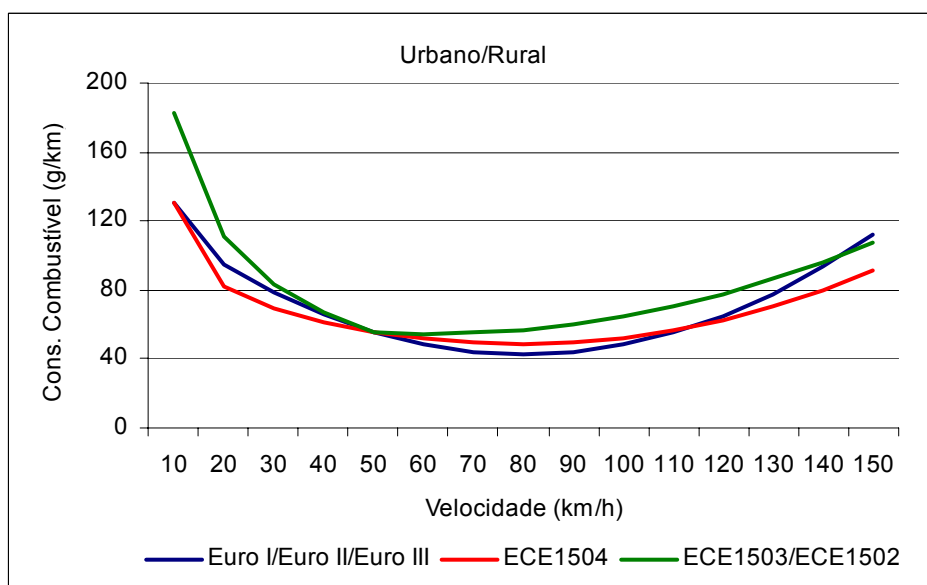
**Figura 4.12 – Distribuição por cilindrada das distâncias percorridas por veículos ligeiros de passageiros a gasóleo.**

Por outro lado, deve também ser analisado o efeito da velocidade nas emissões. Pode acontecer que para uma determinada velocidade seja esperado um consumo de combustível mais elevado para um veículo de tecnologia mais recente em comparação com um veículo tecnologia mais antiga.

Por exemplo, para uma velocidade assumida de 124 km/h em auto-estrada, o factor de consumo de um veículo de passageiros a gasolina com cilindrada compreendida entre 1,4 l e 2,0 l, é superior para uma tecnologia Euro I, II ou III do que para uma tecnologia ECE1504 (mais antiga). O mesmo acontece para a velocidade de 25 km/h, assumida para veículos ligeiros em meio urbano (ver Figura 4.13 e Figura 4.14). Estas constatações são importantes no estudo de medidas para redução de emissões de tráfego automóvel. A diminuição da velocidade em auto-estrada ou o descongestionamento do fluxo automóvel nas zonas urbanas implicam a diminuição do consumo de combustível e das emissões por parte do sector rodoviário.



**Figura 4.13 – Factor de consumo de gasolina para veículos ligeiros de passageiros, em modo auto-estrada, com cilindrada compreendida entre 1,4 l e 2,0 l.**



**Figura 4.14 – Factor de consumo de gasolina para veículos ligeiros de passageiros, em modo rural e urbano, com cilindrada compreendida entre 1,4 l e 2,0 l.**

Considere-se, por exemplo, os veículos ligeiros de passageiros a gasolina que circulam em meio urbano. Dentro desta categoria, os veículos com cilindrada menor que 1,4 cc são os mais importantes em termos de consumo de combustível (ver Anexo 7.1). Considere-se também a análise de sensibilidade do indicador “km/t” em função da velocidade. Esta análise poderá indicar as classes de velocidade para as quais o efeito da entrada de novas tecnologias se torna mais significativo. Como se pode observar na Tabela 4.4 para uma velocidade média de



cerca de 25 km/h o consumo de combustível, em l/10km, decresce 4,57% face ao valor de 1990 enquanto que para uma velocidade média de 10 km/h o decréscimo de consumo é cerca de 17,75%. Ou seja, para a velocidade média de circulação em meio urbano assumida no cálculo das emissões, o efeito da entrada de novas tecnologias não é o mais significativo.

**Tabela 4.4 – Análise de sensibilidade do parâmetro “l/100km” em função da velocidade média para veículos ligeiros de passageiros em modo urbano, a gasolina, com cilindrada menor que 1,4 cc.**

| Classe     | Comb.    | Cilindrada | Modo   | Velocidade Simulada | 1990 (l/100km) | 2003 (l/100km) | D <sub>1990-2003</sub> (%) |
|------------|----------|------------|--------|---------------------|----------------|----------------|----------------------------|
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 5                   | 25.92          | 24.17          | -6.89                      |
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 10                  | 17.03          | 14.14          | -17.75                     |
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 15                  | 12.66          | 11.08          | -12.90                     |
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 20                  | 10.36          | 9.65           | -6.79                      |
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 25                  | 9.36           | 8.93           | -4.57                      |
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 30                  | 8.59           | 8.28           | -3.55                      |
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 35                  | 7.97           | 7.72           | -3.27                      |
| Lig. Pass. | Gasolina | < 1,4 cc   | Urbano | 40                  | 25.92          | 24.17          | -3.44                      |

A mesma análise foi realizada para a categoria de veículos ligeiros de mercadorias a gasóleo em meio rural. Esta categoria é a mais significativa em termos de consumo de gasóleo (ver Anexo 7.1). Como se pode observar na Tabela 4.5, o efeito da tecnologia é mais significativo para uma velocidade média de 70km/h tendo sido essa a velocidade média assumida para circulação em modo rural de veículos ligeiros de mercadorias a gasóleo.

**Tabela 4.5 – Análise de sensibilidade do parâmetro “l/100km” em função da velocidade média para veículos ligeiros de mercadorias em modo rural, a gasóleo.**

| Classe     | Comb.   | Cilindrada | Modo  | Unidade | Velocidade Simulada | 1990  | 2003  | D <sub>1990-2003</sub> (%) |
|------------|---------|------------|-------|---------|---------------------|-------|-------|----------------------------|
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 30                  | 11.08 | 10.20 | -7.92                      |
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 40                  | 9.61  | 8.79  | -8.57                      |
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 50                  | 8.68  | 7.88  | -9.21                      |
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 60                  | 8.27  | 7.47  | -9.69                      |
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 70                  | 8.39  | 7.56  | -9.91                      |
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 80                  | 9.04  | 8.15  | -9.84                      |
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 90                  | 10.22 | 9.24  | -9.55                      |
| Lig. Merc. | Gasóleo | -          | Rural | l/100km | 100                 | 11.93 | 10.84 | -9.14                      |

## 4.2 Factores de Emissão

### 4.2.1 Dióxido de Carbono

Os factores de emissão de dióxido de carbono derivam da Equação 3.11 e são aqui apresentados em unidade de massa emitida por unidade de massa de combustível consumido. Os factores de emissão variam conforme o tipo de combustível utilizado.

**Tabela 4.6 – Factores de emissão de CO<sub>2</sub>.**

| Combustível | EF <sub>CO2</sub> (t CO <sub>2</sub> /t) |
|-------------|------------------------------------------|
| Gasóleo     | 3,14                                     |
| Gasolina    | 3,18                                     |
| GPL         | 3,01                                     |

### 4.2.2 Dióxido de Enxofre

Os constrangimentos legislativos relativos à percentagem de enxofre no combustível levaram a uma diminuição do teor de enxofre entre 1990 e 2003. As emissões de dióxido de enxofre foram estimadas de acordo com os teores de enxofre presentes na Tabela 4.7.

**Tabela 4.7 – Teor de enxofre dos combustíveis (%) (Fonte: DGGE).**

| Combustível | Sub-Tipo | 1990 a 1994 | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000 a 2004 | >2005 |
|-------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Gasolina    | c/ Pb    | 0,100       | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | -           | -     |
| Gasolina    | s/ Pb    | 0,100       | 0,100 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,015       | 0,005 |
| Gasolina    | Média    | 0,100       | 0,100 | 0,080 | 0,077 | 0,074 | 0,062 | -           | -     |
| Gasóleo     | -        | 0,300       | 0,200 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,050 | 0,035       | 0,005 |
| GPL         | -        | 0,000       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000       | 0,000 |

### 4.2.3 Factores de Emissão Dependentes do Modo de Circulação

Os factores de emissão estão sujeitos à variação das tecnologias dos veículos, determinadas em função do ano de construção do veículo (ver Tabela 2.4). Além do tipo de veículo e da sua tecnologia, os factores de emissão são condicionados por outras variáveis. Os factores de emissão foram determinados como função de:

$$EF_{(g/km)} = f(p, c, t, cc, f, v, mc, temp)$$

#### **Equação 4.1**

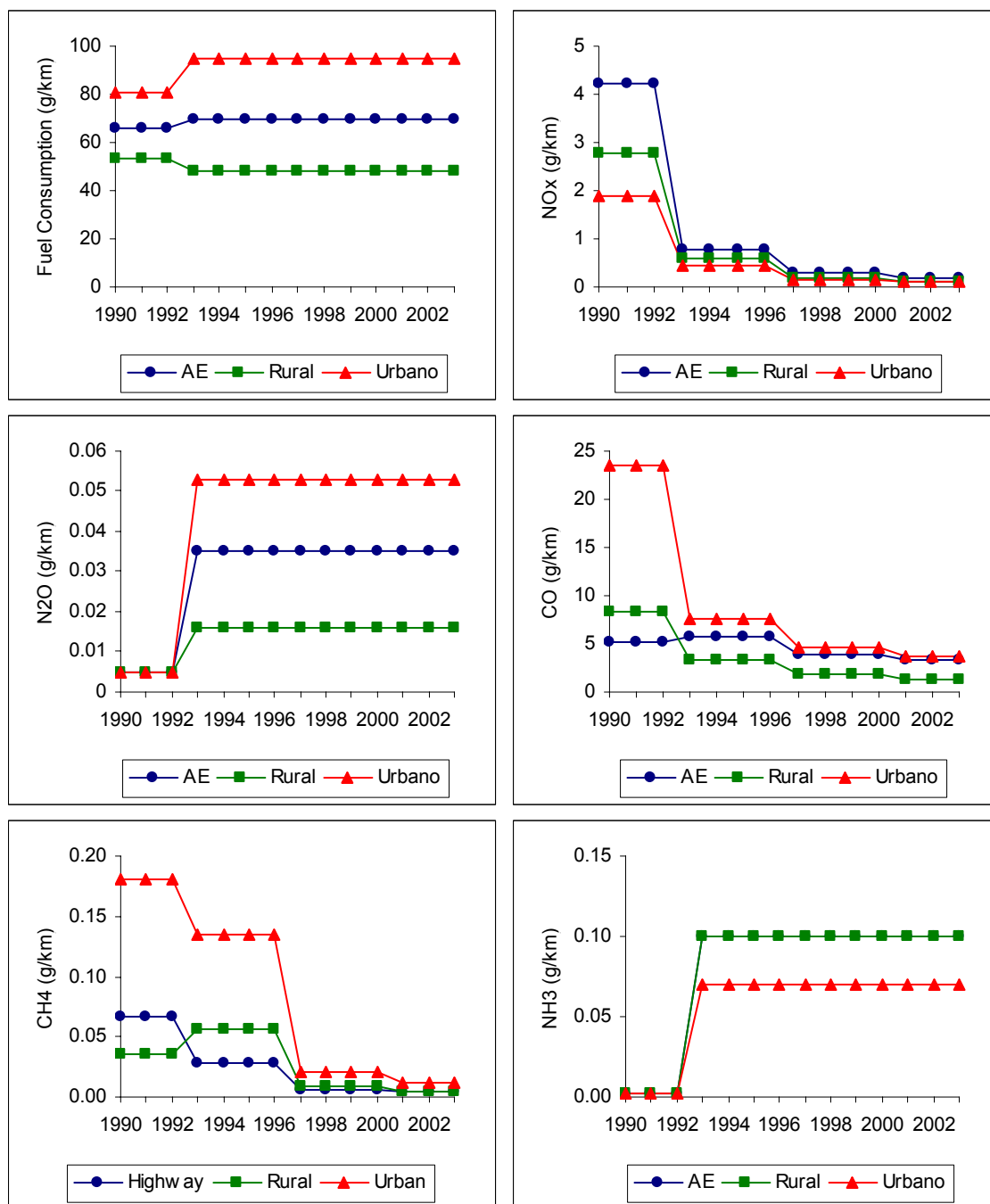
Onde,

- p = poluente;
- c = tipo de veículo;
- t = tecnologia do veículo;
- cc = cilindrada/peso do veículo;
- f = tipo de combustível;
- v = velocidade de circulação;
- mc = modo de circulação;
- temp = temperatura.

Os factores de emissão foram estimados para:

- dez poluentes (CO, NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, COV, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, PM e Pb);
- sete tipos de veículos (ligeiros de passageiros a gasolina, ligeiros de passageiros a gasóleo, ligeiros de passageiros a GPL, ligeiros de mercadorias, pesados de mercadorias, ciclomotores e motociclos) e respectivas cilindradas/pesos;
- três modos de circulação (urbano, rural e auto-estrada).

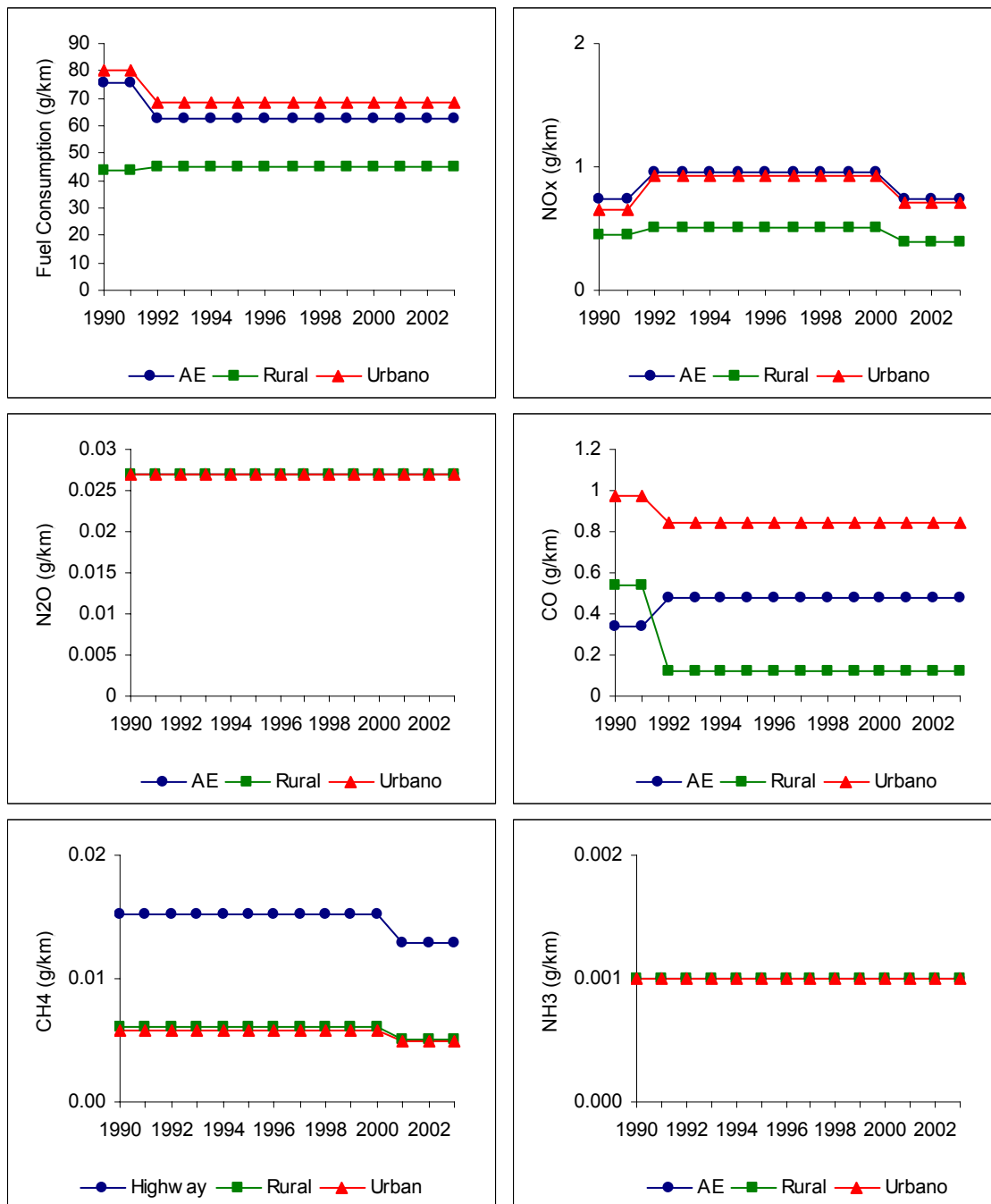
Nas figuras seguintes apresentam-se os factores de emissão obtidos e a respectiva evolução ao longo dos anos para veículos ligeiros de passageiros a gasolina novos com cilindrada compreendida entre  $1,4 \text{ l} < \text{cc} < 2,0 \text{ l}$ .



**Figura 4.15 – Factores de emissão e de consumo de combustível para veículos ligeiros de passageiros novos a gasolina (em cada ano) com cilindrada  $1,4 \text{ l} < \text{CC} < 2,0$ .**

Os factores de emissão apresentados mostram a influência da introdução de novas tecnologias de veículos. Como se pode observar, a influência do catalisador resulta numa diminuição significativa dos factores de emissão dependentes do modo de circulação tais como o CO, o NO<sub>x</sub> e o CH<sub>4</sub>. Por exemplo, a introdução do catalisador leva a uma redução do factor de emissão médio de NO<sub>x</sub> em cerca de 80% e, 55% de redução do factor de emissão médio de CO. Por outro lado, os factores de emissão para alguns poluentes sofrem aumentos significativos com a introdução de novas tecnologias. Por exemplo, o factor de emissão médio de NH<sub>3</sub> aumenta 45 vezes entre 1990 e 2003 e o de N<sub>2</sub>O aumenta cerca de sete vezes no mesmo período.

No que concerne a veículos a gasóleo, por exemplo, com cilindrada menor que 2.0 l, a introdução da tecnologia Euro I em 1992 leva a uma diminuição do factor de emissão médio de CO, NO<sub>x</sub>, e consumo de combustível de cerca de, respectivamente, 22%, 17%, e 12% (ver Figura 4.16). Entre a tecnologia Euro I e Euro II apenas se observam reduções no factor de emissão de NO<sub>x</sub> (-23% de Euro I para Euro II) e de CH<sub>4</sub> (-15% de Euro I para Euro II).



**Figura 4.16 – Factores de emissão e de consumo de combustível para veículos ligeiros de passageiros novos a gasóleo (em cada ano) com cilindrada < 2,0 l.**

#### 4.2.4 Factores de Emissões Evaporativas

Os factores para as emissões evaporativas foram estimados de acordo com o proposto pela metodologia EMEP/CORINAIR, 2002. Na tabela seguinte, apresentam-se os factores médios de emissões evaporativas.

**Tabela 4.8 – Factores médios de emissões evaporativas (valores em g/veículo/dia)**

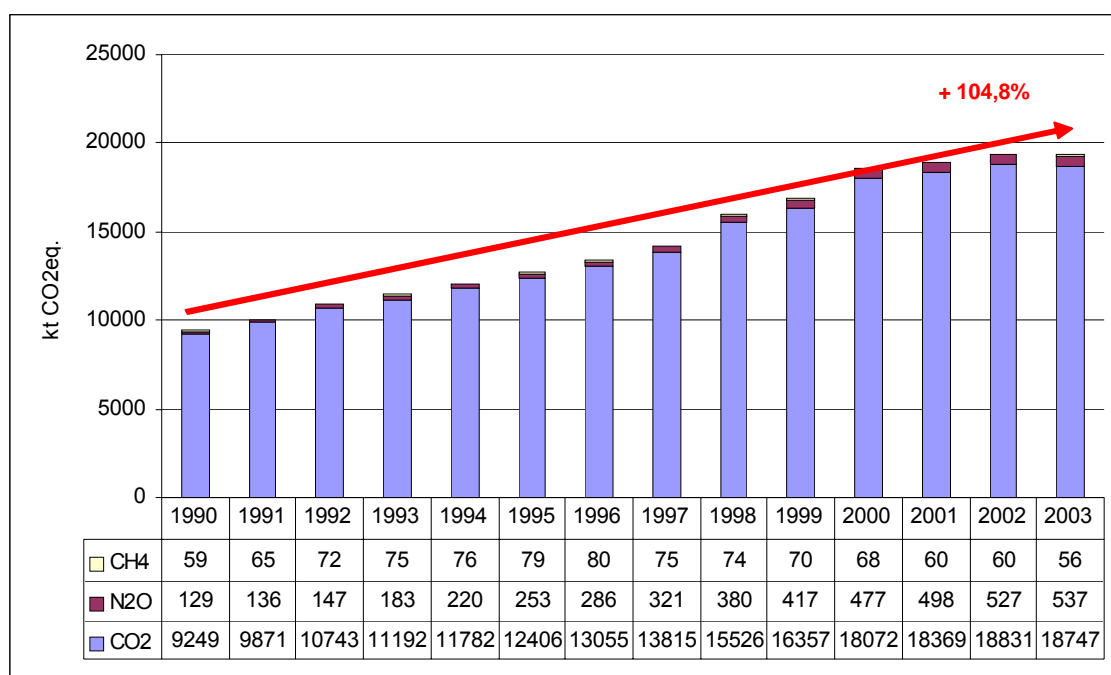
| Factor de Emissão           | Categoria       | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995   | 1996   |
|-----------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $e^d$                       | Convencional    | 5,860  | 5,860  | 5,860  | 5,860  | 5,860  | 5,860  | 5,841  |
|                             | <i>Canister</i> | 1,172  | 1,172  | 1,172  | 1,172  | 1,172  | 1,172  | 1,168  |
| $e^{s,warm}$                | Convencional    | 3,235  | 3,235  | 3,235  | 3,235  | 3,235  | 3,235  | 3,220  |
|                             | <i>Canister</i> | 0,521  | 0,521  | 0,521  | 0,521  | 0,521  | 0,521  | 0,520  |
| $e^{s,hot}$                 | Convencional    | 16,897 | 16,897 | 16,897 | 16,897 | 16,897 | 16,897 | 16,584 |
|                             | <i>Canister</i> | 0,782  | 0,782  | 0,782  | 0,782  | 0,782  | 0,782  | 0,780  |
| $e^{fi,hot} \& e^{fi,warm}$ | Convencional    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    |
|                             | <i>Canister</i> | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| $e^{r,warm}$                | Convencional    | 0,141  | 0,141  | 0,141  | 0,141  | 0,141  | 0,141  | 0,143  |
|                             | <i>Canister</i> | 0,014  | 0,014  | 0,014  | 0,014  | 0,014  | 0,014  | 0,014  |
| $e^{r,hot}$                 | Convencional    | 0,192  | 0,192  | 0,192  | 0,192  | 0,192  | 0,192  | 0,195  |
|                             | <i>Canister</i> | 0,019  | 0,019  | 0,019  | 0,019  | 0,019  | 0,019  | 0,019  |
| Factor de Emissão           | Categoria       | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| $e^d$                       | Convencional    | 5,841  | 5,841  | 5,841  | 5,258  | 5,258  | 5,258  | 5,258  |
|                             | <i>Canister</i> | 1,168  | 1,168  | 1,168  | 1,052  | 1,052  | 1,052  | 1,052  |
| $e^{s,warm}$                | Convencional    | 3,220  | 3,220  | 3,220  | 2,822  | 2,822  | 2,822  | 2,822  |
|                             | <i>Canister</i> | 0,520  | 0,520  | 0,520  | 0,446  | 0,446  | 0,446  | 0,446  |
| $e^{s,hot}$                 | Convencional    | 16,584 | 16,584 | 16,584 | 14,758 | 14,758 | 14,758 | 14,758 |
|                             | <i>Canister</i> | 0,780  | 0,780  | 0,780  | 0,668  | 0,668  | 0,668  | 0,668  |
| $e^{fi,hot} \& e^{fi,warm}$ | Convencional    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    | 0,7    |
|                             | <i>Canister</i> | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |
| $e^{r,warm}$                | Convencional    | 0,143  | 0,143  | 0,143  | 0,107  | 0,107  | 0,107  | 0,107  |
|                             | <i>Canister</i> | 0,014  | 0,014  | 0,014  | 0,011  | 0,011  | 0,011  | 0,011  |
| $e^{r,hot}$                 | Convencional    | 0,195  | 0,195  | 0,195  | 0,146  | 0,146  | 0,146  | 0,146  |
|                             | <i>Canister</i> | 0,019  | 0,019  | 0,019  | 0,015  | 0,015  | 0,015  | 0,015  |

### 4.3 Emissões

As emissões de gases com efeito de estufa (GEE) emitidos pelo sector rodoviário – CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O – foram estimadas em 19,3 Mt de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq.) em 2003 o que representa um aumento de 104,8% comparando com os valor de 1990 estimado em 9,4 Mt CO<sub>2</sub>eq. (ver Figura 4.17). Entre 2002 e 2003 a emissão de gases com efeito de estufa diminuiu muito ligeiramente de 19,4 para 19,3 Mt CO<sub>2</sub>eq. O dióxido de carbono foi o gás com efeito de estufa mais emitido, representando cerca de 97,1% do total de emissões de GEE em 2003. Também para 2003 as emissões de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> representam cerca de 2,7% e de 0,3%, respectivamente.

As emissões de N<sub>2</sub>O aumentaram 4,2 vezes desde 1990 devido à introdução de catalisadores nos veículos. Alguns autores sugerem aumentos até 10 vezes nas emissões de N<sub>2</sub>O com a introdução de catalisadores (Wade *et al.*, 1994; de Soete e Sharp, 1991; Dasch, 1992). De facto a introdução dos catalisadores tem algumas desvantagens associadas incluindo o aumento das emissões de N<sub>2</sub>O, o aumento das emissões de NH<sub>3</sub>, o que contribui para a acidificação, e o aumento da emissão de CO<sub>2</sub>, que resulta do aumento do consumo de combustível provocado pelo catalisador.

É difícil estimar em que medida aumentam as emissões de CO<sub>2</sub> com a introdução dos catalisadores uma vez que, simultaneamente, foram desenvolvidas tecnologias que permitiram a diminuição do consumo de combustível.



**Figura 4.17 – Emissões de GEE estimadas para o sector do transporte rodoviário [1990-2003].**

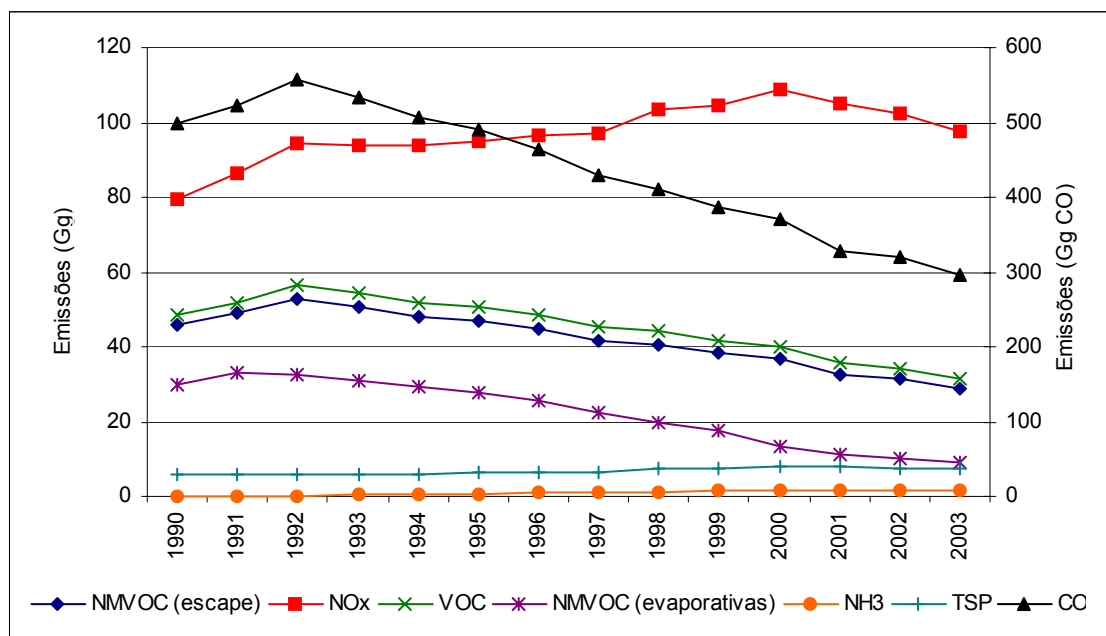


**Tabela 4.9 –Emissões de GEE estimadas para o sector do transporte rodoviário [1990-2003]**

|                              | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995   | 1996   |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Kt CO<sub>2</sub> eq.</b> | 9 434  | 10 066 | 10 956 | 11 441 | 12 067 | 12 725 | 13 405 |
| <b>Δ(%)</b>                  | -      | 6,7    | 8,8    | 4,4    | 5,5    | 5,5    | 5,3    |
| <b>Δ1990(%)</b>              | -      | 6,7    | 16,1   | 21,3   | 27,9   | 34,9   | 42,1   |
|                              | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
| <b>Kt CO<sub>2</sub> eq.</b> | 14 194 | 15 960 | 16 824 | 18 597 | 18 906 | 19 396 | 19 316 |
| <b>Δ(%)</b>                  | 5,9    | 12,4   | 5,4    | 10,5   | 1,7    | 2,6    | -0,4   |
| <b>Δ1990(%)</b>              | 50,5   | 69,2   | 78,3   | 97,1   | 100,4  | 105,6  | 104,8  |

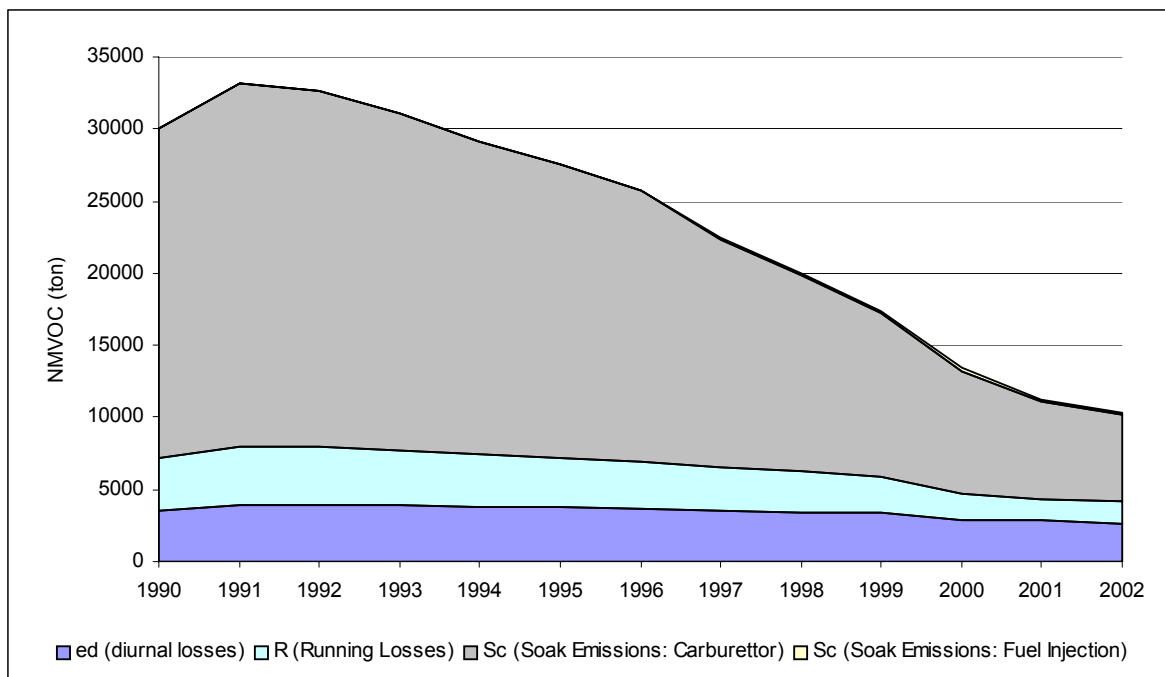
As emissões de NH<sub>3</sub>, TSP e NO<sub>x</sub> registaram aumentos quando comparadas com as emissões realizadas em 1990. Os resultados dos cálculos mostram que os poluentes NO<sub>x</sub> e TSP aumentaram cerca de 22,7% e de 20,9% respectivamente, enquanto que o NH<sub>3</sub> aumentou cerca de 28 vezes, de 0,065×10<sup>-3</sup> Gg em 1990 para 1,829×10<sup>-3</sup> Gg em 2003. As emissões de TSP excluem as emissões de partículas provenientes do desgaste dos pneus, travões e estradas.

Por outro lado, com a introdução dos catalisadores desde 1992, têm-se vindo a verificar reduções significativas de poluentes relacionados com problemas de qualidade do ar em zonas urbanas (ver Figura 4.18). Apesar das emissões absolutas de NO<sub>x</sub> terem aumentado 22,7% desde 1990, as emissões relativas, em massa de emissão por unidade de combustível consumido, decresceram de 14,9 kgNO<sub>x</sub>/tep em 1990 para 4,6 kgNO<sub>x</sub>/tep em 2003.



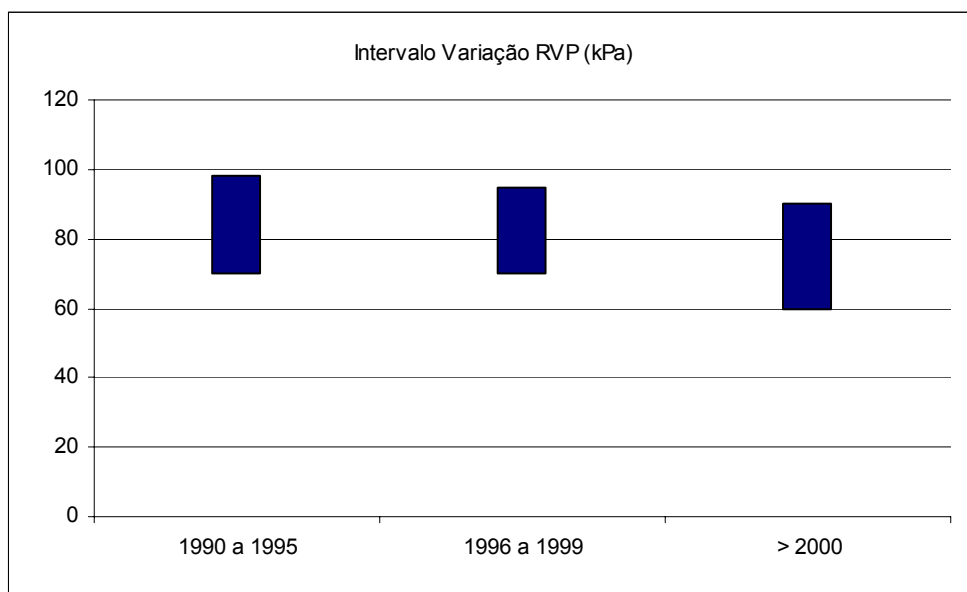
**Figura 4.18 – Emissões anuais de gases poluentes estimadas para o sector do transporte rodoviário [1990-2003]**

Foram também observadas reduções muito significativas de emissões evaporativas para o período em estudo. Estas reduções relacionam-se com a introdução de novas tecnologias, nomeadamente, a introdução de veículos com sistema de injeção em substituição dos veículos a carburador. A Figura 4.19 mostra que as emissões *soak* provenientes de veículos a carburador, e que contribuem para a maior parte das emissões evaporativas, reduziram 78% desde 1990. As emissões *soak* provenientes de veículos a injeção representam uma pequena parcela do total de emissões evaporativas (menos de 2% em 2003).



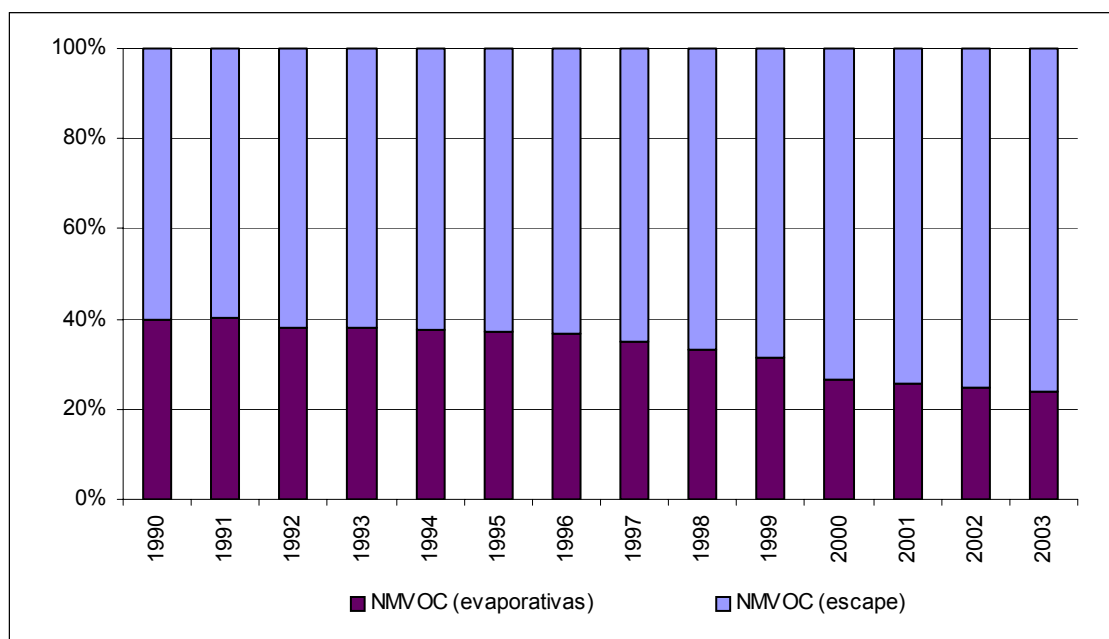
**Figura 4.19 – Emissões evaporativas.**

De 1990 para 2000 regista-se uma diminuição mais acentuada das emissões evaporativas. Esta diminuição mais acentuada resulta dos factores de emissão dependentes da volatilidade do combustível (RVP). Na Figura 4.20 apresentam-se os valores máximos e mínimos do RVP (para Verão e Inverno) estabelecidos na legislação nacional. Deste modo, a redução das emissões no sector rodoviário é conseguida não só através da introdução de veículos com novas tecnologias mas também através da introdução de novos combustíveis.



**Figura 4.20 – Variação da pressão de vapor.**

A percentagem de emissões evaporativas em relação às emissões de escape tem vindo a diminuir passando de 40% em 1990 para 25% em 2003 como mostra a Figura 4.21.



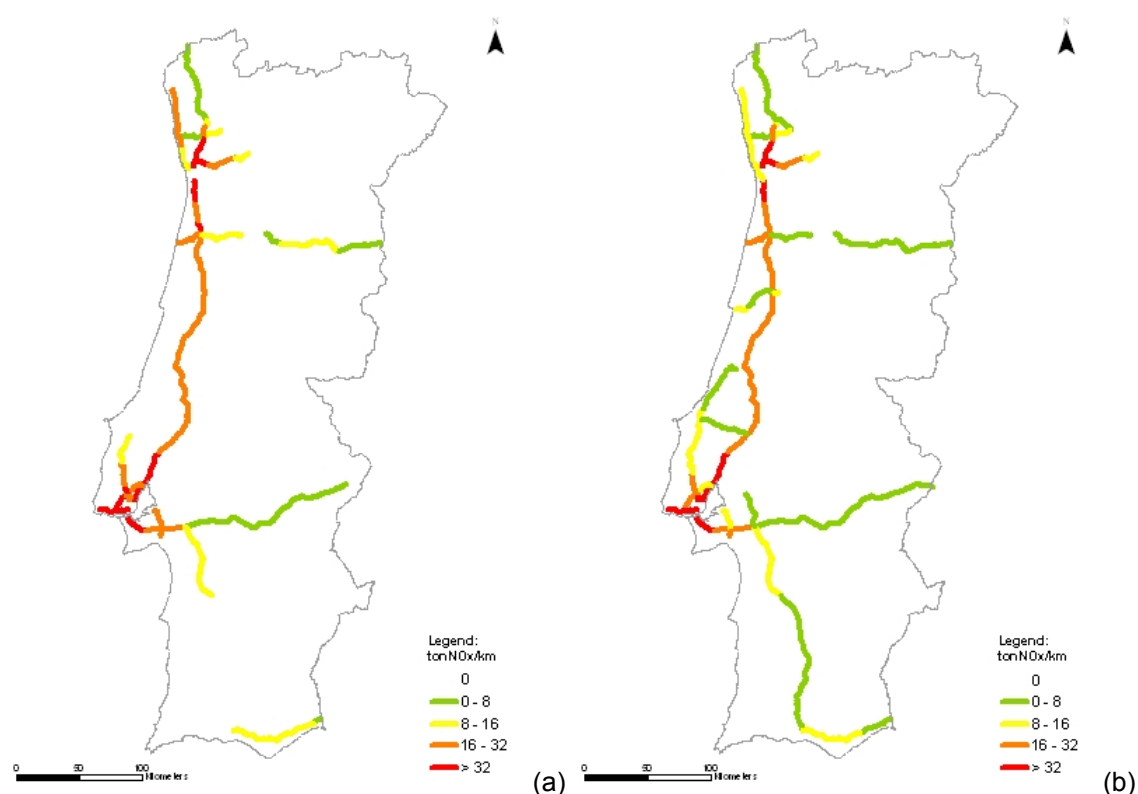
**Figura 4.21 – Percentagem das emissões evaporativas e de escape.**

## 4.4 Alocação Espacial

A alocação espacial foi realizada para cada um dos modos de circulação: auto-estrada, rural e urbano. As auto-estradas foram consideradas fontes em linha enquanto que as áreas urbanas e rurais foram consideradas fontes em área. A alocação espacial foi realizada para todos os poluentes do inventário encontrando-se os dados armazenados numa base de dados em ACCESS® desenvolvida especificamente para esta tarefa.

### 4.4.1 Auto-estrada

A alocação das emissões às auto-estradas foi realizada de acordo com os dados das contagens de tráfego disponibilizados pelo IPE. Os resultados são dados em unidade de massa de gás emitido por comprimento do troço de auto-estrada (t/km). A Figura 4.22 apresenta, como exemplo, as emissões de NO<sub>x</sub> realizadas em auto-estradas para os anos de 1990 e 2003.

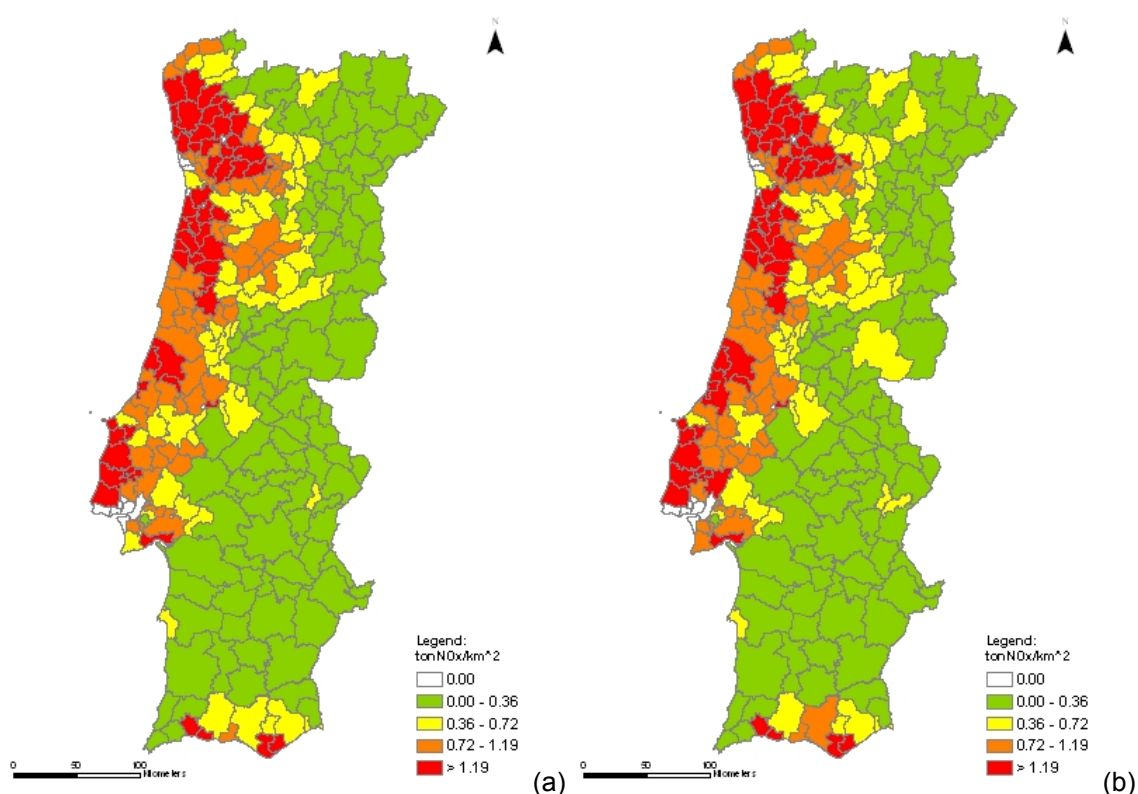


**Figura 4.22 – Emissões de NO<sub>x</sub> realizadas em auto-estrada (com e sem portagem) no ano de 1990 (a) e 2003 (b).**

A rede de auto-estradas aumentou significativamente entre 1990 e 2003 principalmente na zona litoral do país entre Lisboa e Porto. O troço com emissões mais elevadas foi identificado na auto-estrada A5: 162 tNO<sub>x</sub>/km entre Miraflores e Linda-a-Velha durante o ano de 2003. Foram identificados, em 2003, valores de emissão semelhantes noutros troços da mesma auto-estrada; os valores variam entre 162 NO<sub>x</sub>/km e 125 tNO<sub>x</sub>/km nos troços Viaduto Duarte Pacheco – Cruz Oliveiras, Cruz Oliveiras – Monsanto e Linda-a-Velha – Estádio Nacional. Foram ainda registadas concentrações superiores a 50 tNO<sub>x</sub>/km nas auto-estradas A1, A2, A3 e A9.

#### 4.4.2 Rural

As emissões realizadas sob o modo rural foram alocadas às freguesias com densidade populacional inferior a 500 hab/km<sup>2</sup>. Os resultados foram seguidamente agregados ao nível do concelho. Na Figura 4.23 apresenta-se as emissões de NO<sub>x</sub> por unidade de área realizadas em modo de circulação rural para os anos de 1990 e 2003. Como seria de esperar, as emissões mais elevadas ocorrem na região litoral do país, nas áreas com uma densidade populacional mais elevada.

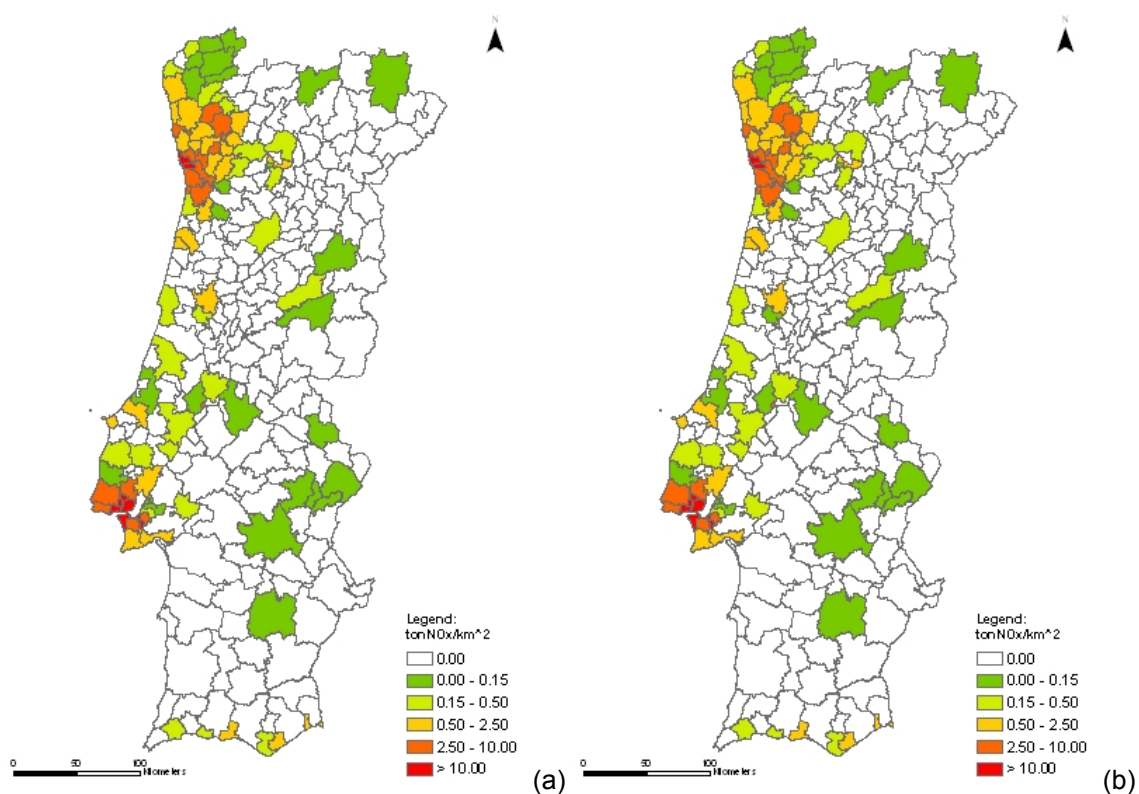


**Figura 4.23 – Emissões de  $\text{NO}_x$  realizadas em modo de circulação rural nos anos 1990 (a) e 2003 (b).**

As emissões realizadas em modo de circulação rural variam entre  $2,84 \text{ tNO}_x/\text{km}^2$  no concelho de Ovar e  $6,19 \times 10^{-2} \text{ tNO}_x/\text{km}^2$  no concelho de Alcotim durante o ano de 2003.

#### 4.4.3 Urbano

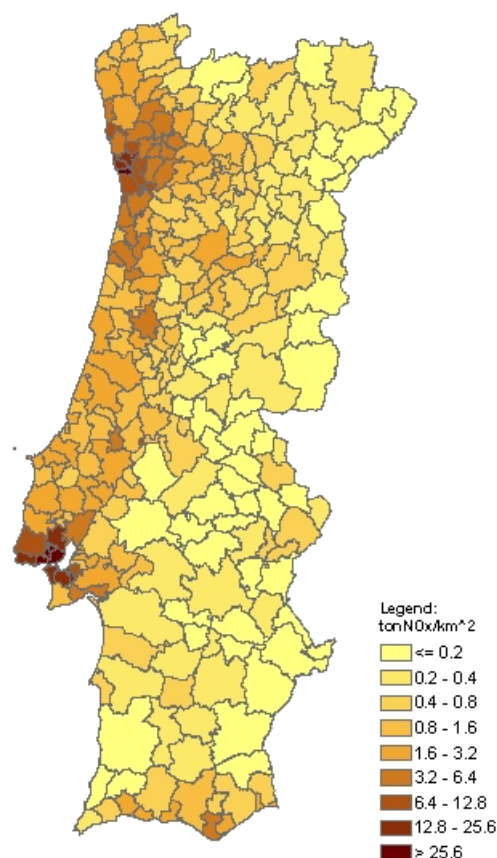
As emissões em modo de circulação urbano foram desagregadas nas freguesias com densidade populacional maior ou igual a  $500 \text{ hab}/\text{km}^2$  e seguidamente agregadas ao nível do concelho. As emissões por área realizadas em modo urbano são muito maiores do que aquelas realizadas em modo rural. Na figura seguinte apresentam-se, como exemplo, as emissões de  $\text{NO}_x$  realizadas em modo urbano nos anos de 1990 e 2003.



**Figura 4.24 – Emissões de NO<sub>x</sub> realizadas em modo de circulação urbano nos anos 1990 (a) e 2003 (b).**

As emissões em modo urbano variam entre 0,013 tNO<sub>x</sub>/km<sup>2</sup> no concelho de Vila Real e 38,4 tNO<sub>x</sub>/km<sup>2</sup> no concelho da Amadora. Lisboa e Porto são os concelhos que se seguem com as emissões mais elevadas.

Os resultados finais são apresentados ao nível do concelho. Para tal as emissões em auto-estrada são transformadas em emissões em área de acordo com o comprimento dos troços de auto-estrada que atravessam um determinado concelho. A Figura 4.25 apresenta o resultado da alocação espacial das emissões de NO<sub>x</sub> para o ano de 2003.



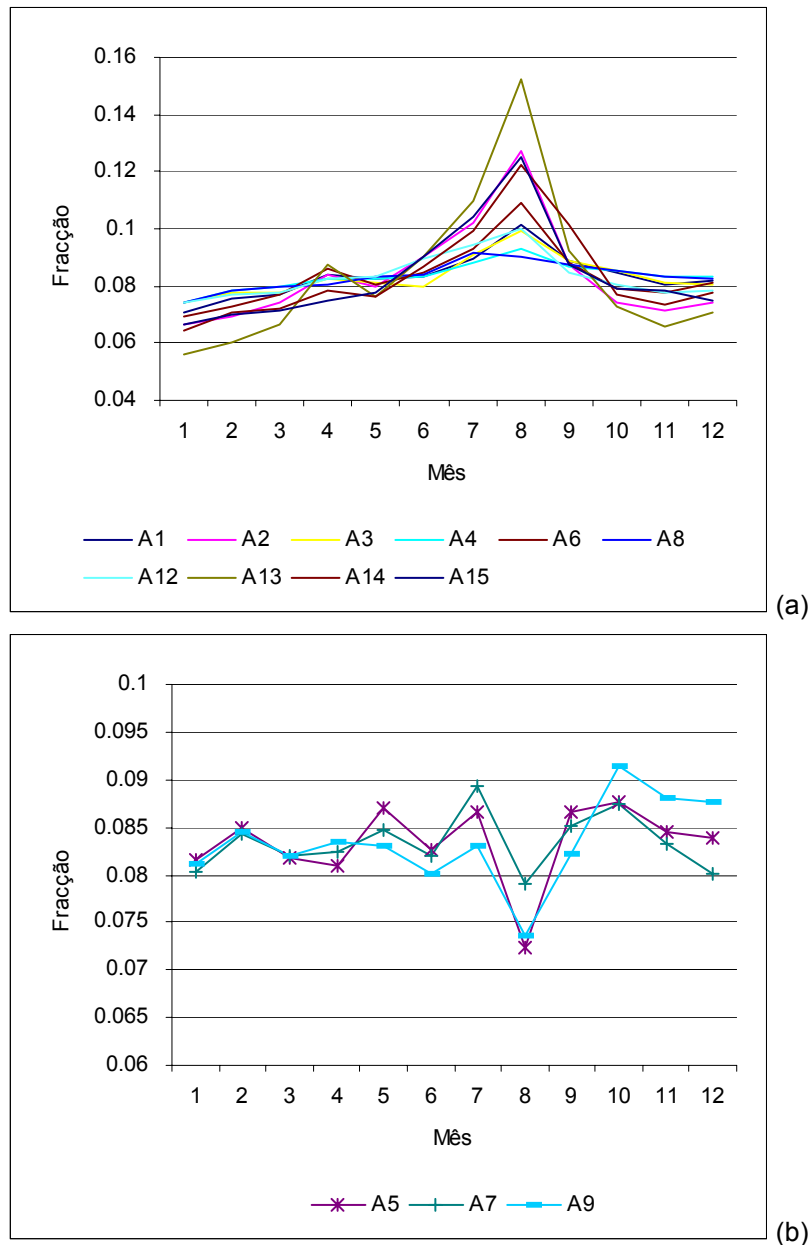
**Figura 4.25 – Emissões de NO<sub>x</sub> por unidade de área para o ano de 2003.**

## 4.5 Alocação Temporal

A alocação temporal assume um papel muito importante na aplicação dos inventários nacionais aos modelos de qualidade do ar como por exemplo aqueles utilizados na previsão de ozono troposférico. O ciclo diário das emissões é fundamental na química da atmosfera. A alocação temporal deve ser realizada para intervalos de tempo relativamente curtos, no entanto, os dados disponíveis para a concretização desta tarefa são muito escassos.

Os dados disponíveis permitiram apenas a realização da alocação temporal para as auto-estradas com uma resolução temporal de um mês. Na Figura 4.26 apresentam-se as curvas temporais que derivam das contagens de tráfego em auto-estradas fornecidas pelo IEP.





**Figura 4.26 – Variação mensal das emissões do tráfego rodoviário em auto-estrada.**

Esta alocação temporal, apesar de muito grosseira tendo em conta a resolução temporal e também o facto de estar apenas disponível para auto-estradas, permite distinguir auto-estradas onde ocorrem emissões mais elevadas durante o período do verão, entre Junho e Setembro.

A alocação espacial indica ainda que podem ocorrer diferenças muito significativas no perfil temporal de emissões em determinadas auto-estradas. São também esperadas grandes variações no perfil temporal de emissões para as fontes em área.

## 5 CONCLUSÕES

---

O sector dos transportes é um sector chave no que concerne a emissões de gases com efeito de estufa, sendo responsável por cerca de 25% do total de emissões em Portugal no ano de 2002. É o transporte rodoviário aquele que mais contribui para as emissões de gases com efeito de estufa no sector dos transportes, sendo responsável por 96,5% as emissões.

Portugal é um dos países em que a o sector rodoviário mais contribui para as emissões dos transportes. Efectivamente, o sector rodoviário contribui com 96,5% do total de emissões de todos os transportes em Portugal. Por exemplo, em países como a Espanha, França, Alemanha e Itália, o sector rodoviário contribuiu para o total dos transportes com cerca de, respectivamente, 91,3%, 93,6%, 94.2% e 92.3% no ano de 2002.

Como foi demonstrado, as emissões estimadas de gases com efeito de estufa provenientes do sector rodoviário em 2003 foram cerca de 19.3 Mt CO<sub>2</sub>eq, representando um aumento de 104,8% face a valores de 1990. Apesar de tudo, nos últimos dois anos verificou-se um ligeiro decréscimo nas emissões de GEE passando de 19,4 Mt CO<sub>2</sub>eq em 2002 para 19.3 Mt CO<sub>2</sub>eq em 2003.

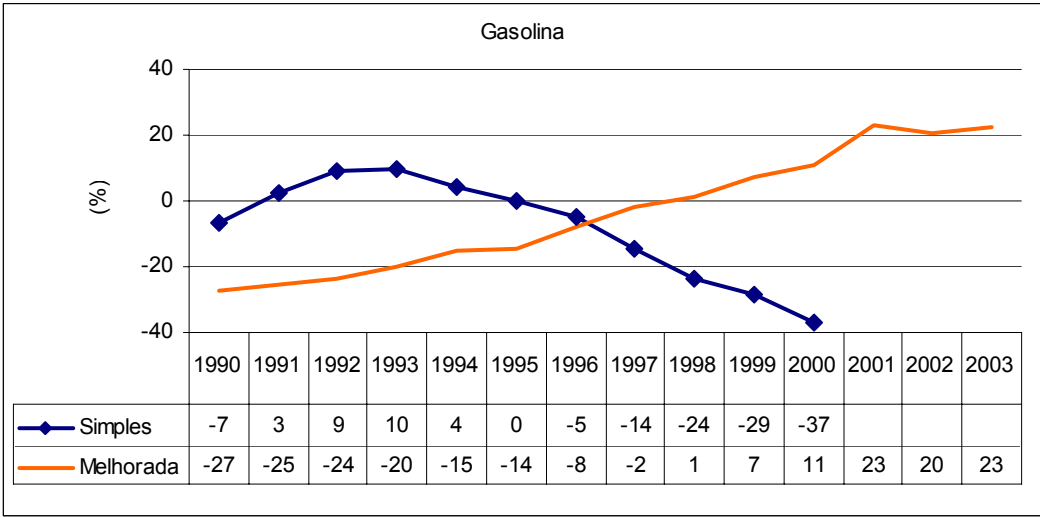
Foram também registados aumentos significativos de alguns gases directamente relacionados com problemas de qualidade do ar que ocorrem sobretudo em zonas urbanas. Por exemplo, as emissões PM e NO<sub>x</sub> provenientes do escape aumentaram, em 22,7% e 20,9%, respectivamente, face a 1990.

Identificaram-se reduções de emissão resultantes da entrada no mercado de novas tecnologias de veículos, por exemplo, as emissões de NO<sub>x</sub>, em massa de emissão por unidade de combustível consumido, decresceram de 14,9 kgNO<sub>x</sub>/tep em 1990 para 4,6 kgNO<sub>x</sub>/tep em 2003.

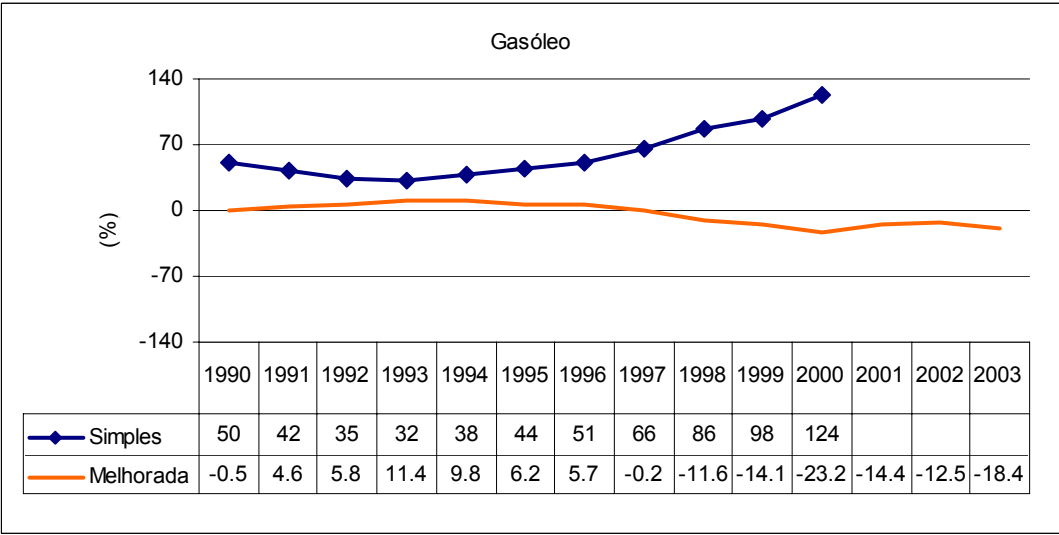
A eficácia do modelo de cálculo de emissões utilizando a metodologia proposta neste estudo, aqui designada como “metodologia melhorada”, foi avaliada a partir da comparação entre os consumos de combustível estimado e real. Simultaneamente, foi avaliada a eficácia da metodologia de cálculo utilizada anteriormente para a estimativa das emissões do sector rodoviário, aqui designada como “metodologia simples”. A “metodologia simples” foi utilizada até ao ano 2000, daqui para a frente as emissões foram calculadas utilizando a “metodologia melhorada”. De cada vez que se procede a alterações à metodologia de cálculo, são refeitas as estimativas para anos anteriores de modo a manter a consistência da série temporal de emissões.

A eficácia de ambas as metodologia foi comparada de modo a avaliar o valor acrescentado do trabalho desenvolvido neste estudo.

Como se pode observar na Figura 5.1 e Figura 5.2, a diferenças entre os consumos estimados e reais diminuem com a aplicação da “metodologia melhorada”. Os resultados mostram que foram alcançadas melhorias significativas sobretudo no que diz respeito ao consumo estimado de gasóleo.



**Figura 5.1 – Diferença percentual do consumo estimado de gasolina em relação ao real utilizando as metodologias “melhorada” e “simples”.**



**Figura 5.2 – Diferença percentual do consumo estimado de gasóleo em relação ao real utilizando as metodologias “melhorada” e “simples”..**

As estimativas são tanto melhores quanto menores forem as diferenças percentuais entre o consumo real e o estimado. Diferenças a rondar os 0% indicam uma boa eficácia do modelo no cálculo do consumo de combustível.

As previsões do consumo de gasolina, obtidas com a nova metodologia, encontram-se afectadas por um erro sistemático que poderá estar relacionado com os dados de actividade que serviram como dados de entrada do modelo. A forma mais adequada de obter a variável de actividade dos veículos seria a estimativa a partir dos dados reais de circulação recolhidos no centros de inspecção de veículos.

O modelo pode ainda ser melhorado através da utilização de variáveis que não foram para já consideradas tais como o declive das vias de circulação, a quilometragem dos veículos, entre outras.

A metodologia para o cálculo das emissões do sector rodoviário é uma das mais complexas. É muito exigente em termos de variáveis de entrada. Os dados de entrada são muitas vezes escassos ou encontram-se dispersos numa série de instituições com responsabilidade no sector dos transportes. Por vezes, os dados necessários para o cálculo são simplesmente inexistentes. Assim sendo, o cálculo das emissões do sector rodoviário obriga a que sejam previamente estabelecidos um conjunto de pressupostos que no fim podem aumentar significativamente a incerteza associada aos resultados.

Foi também demonstrado que podem ocorrer diferenças significativas no perfil de emissão temporal nas fontes de emissão. O perfil temporal das emissões pode ser fundamental na aplicação de inventários para a modelação da qualidade do ar.

Foram identificadas áreas para o desenvolvimento futuro do presente modelo. As tarefas identificadas como trabalho futuro dizem respeito sobretudo à integração de variáveis de entrada adicionais. Os desenvolvimentos futuros deverão incidir sobre a:

- utilização da quilometragem real dos veículos;
- estimativa das emissões de partículas provenientes do desgaste dos pneus, travões, suspensões e estradas;
- utilização do factor de correcção do declive das rodovias;
- melhoria da alocação temporal das emissões;
- aplicação de procedimentos de garantia e controlo de qualidade;
- estimativa da incerteza do modelo.

## 6 REFERÊNCIAS

---

- ACAP (2001) Estatísticas do Sector Automóvel 2001. Associação do Comércio Automóvel de Portugal.
- ACAP (2002) Estatísticas do Sector Automóvel 2002. Associação do Comércio Automóvel de Portugal.
- ACAP (2003) Estatísticas do Sector Automóvel 2003. Associação do Comércio Automóvel de Portugal.
- AGO (2004) National Greenhouse Gas Inventory 2002. Emissions Analysis Team. International Land and Analysis Division. Australian Greenhouse Office. GPO Box 621. Canberra ACT 2601. Australia.
- Anderson. H.R.. Spix. C.. Medina. S.. Schouten. J.P.. Castellsagué. J.. Rossi. G.. Zmirou. D.. Touloumi. G.. Wojtyniak. B.. Pönkä. A.. Bachárová. L.. Schwartz. J.. Katsouyanni. K. (1997) Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *European Respiratory Journal* 10. 1064-1071.
- André M.. Hammarström. U.. Reynaud. I. (1999) Driving statistics for the assessment of air pollutant emissions from road transport. INRETS report. LTE9906. Bron. France. 191 p.
- André. M.. Hammarstrom. U. (2000) Driving speeds in Europe for pollutant emissions estimation. *Transportation Research Part D*. 5. pp 321-335
- Borrego. C.. Janko. J.. Tchepel. O.. Salmim. L.. Amorim. J.H. & Costa. A.M. (2004) Integrated Modelling of Road Traffic Emissions: Application to Lisbon Air Quality Management. *Cybernetics and Systems: An International journal*. Taylor & Francis. 35(5-6). p. 535-548.
- CARRIS (2005) <http://www.carris.pt>
- Chan. C.C.. Spengler. J.D.. Özkaynak. H.. Lefkopoulou. M. (1991) Commuter exposures to VOCs in Boston, Massachusetts. *Journal of the Air and Waste Management Association* 41. 1594-1600.
- Chan. T.L.. Ning. Z.. Leung. C.W.. Cheunga. C.S.. Hung. W.T.. Dong. G. (2004) On-road remote sensing of petrol vehicle emissions measurement and emission factors estimation in Hong Kong. *Atmospheric Environment* 38. pp 2055 – 2066.
- Chang. J.P.. Gaborit. G. (2004) Meditairaneo Road Transport – Guidelines relating to national and local emissions. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique.
- CITEPA (2003) Inventaire des Emissions de Gaz a Effet de Serre en France. Au Titre de la Convention Cadre de Nations Unies sur les Changements Climatiques. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. Pairs. France.
- Colville. R.N.. Hutchinson. E.J.. Mindell. J.S.. Warren. R.F. (2001) The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment* 35. pp 1537 – 1565.
- Dai. J.. Rocke. D.M. (2000) A GIS-based approach to spatial allocation of area source solvent

- emissions. *Environmental Modelling and Software* 15. 293-302.
- Daimler Chrysler (2005) <http://www.daimlerchrysler.com/dccom>
- Dasch. J.M. (1992) Nitrous oxide emissions from vehicles. *Journal of the Air and Waste Management Association* 42 (1). 63-67.
- De Soete. G.. Sharp (1991) Nitrous oxide emissions: modifications as a consequence of current trends in industrial fossil fuel combustion and in land use. European Commission Report EUR 13473 EN. Luxembourg.
- DEFRA (2004) UK Greenhouse Gas Inventory. 1990 to 2002. Annual Report for submission under the Framework Convention on Climate Change. Department for Environment. Food and Rural Affairs. Abingdon. Oxon. United Kingdom.
- DGEQA (2004) Greenhouse Gas Emissions Inventories Report From Spain 1990-2002. Submissions to the Secretariat for the Framework Convention on Climate Change. Directorate-General for Environmental Quality and Assessment. Ministry of the Environment. Madrid.
- DGGE (1999) A Procura de Energia em Portugal 2000-2020: Sector Transportes. Direcção Geral de Geologia e Energia.
- Dockery. D.W.. Schwartz. J.. Spengler. J.D. (1992) Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols. *Environmental Research* 62. 362-373.
- EEA (2003) Air pollution by ozone in Europe in summer 2003. Overview of exceedances of EC ozone threshold values during the summer season April–August 2003 and comparisons with previous years. Report to the European Commission by the European Environment Agency. European Topic Centre on Air and Climate Change based on data provided in the framework of Council Directive 92/72/EEC on air pollution by ozone by 15 September 2003. European Environmental Agency. Copenhagen.
- EMEP (2004) EMEP Assessment Part I European Perspective. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe. ISBN 82-7144-032-2. Oslo.
- EMEP/CORINAIR (2002) Atmospheric Emission Inventory Guidebook – 3d edition. European Environmental Agency. Technical Report nº 30. [http://reports.eea.eu.int/technical\\_report\\_2001\\_3/en](http://reports.eea.eu.int/technical_report_2001_3/en)
- EPA (2001) Development of Methodology for Estimating VMT Weighting by Facility Type. Report M6.SPD.003. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality United States Environmental Protection Agency.
- Ferreira. F.. Tente. H.. Torres. P. (2002) Air quality in Major Portuguese Agglomerations. *Water. Air. & Soil pollution: Focus*. 2(5-6). pp 103-114.
- Gois F.V.. Pereira. T.C.. Torres. P.. Seabra. T. (2004) Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases. 1990-2002. submitted under the UNFCCC. Institute for the Environment. Amadora. Portugal.
- Gois. V.. Maciel. H.. Nogueira. L.. Almeida. C.. Torres. P. (2005) Spatial Allocation of Air Emissions From Mobile Sources Using Aerial Photography Data. *Proceedings Urban Air Quality*. 29-31 March 2005. Valencia. Spain

- IPCC (1996) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch>
- IPCC (2000) Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>
- IPCC (2001) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Janik, D.A. (1997) Enhancing the Highway Performance Monitoring System in Northeastern and Southeastern Illinois: An Assessment of the State of the VMT Estimating Practice in Illinois. In Transportation Planning and Air Quality III - Emerging Strategies and Working Solutions. Conference Proceedings. August 17-20, 1997. Lake Tahoe, California. American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia. pp 10-18.
- Joumard R. (1999) Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the art. INRETS report n° LTE 9901. France.
- Joumard, R., André, M., Vidon, R., Tassel, P. (2003) Characterizing real unit emissions for light dutygoods vehicles. Atmospheric Environment 37. 5217–5225.
- Joumard, R., Jost, P., Hickman, J., Hassel, D. (1995) Hot passenger car emissions modelling as a function of instantaneous speed and acceleration. The Science of the Total Environment 169. 167-174.
- Kühlwein, J., Wickert, B., Trukenmüller, A., Theloke, J., Friedrich, R. (2002) Emission-modelling in high spatial and temporal resolution and calculation of pollutant concentrations for comparisons with measured concentrations. Atmospheric Environment 36. Supplement No. 1. S7–S18.
- Laurikko J., Erlandsson, L. and Abrahamsson, R. (1995) Exhaust emissions in cold ambient conditions: considerations for a European test procedure. SAE Int. Cong. & Exp., Detroit, Michigan. SAE Paper 950929
- MEET (1998) Average Hot Emission Factors for Passenger Cars and Light Duty Trucks. Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions From Transport. LAT Report No: 9811. Greece. Thessaloniki. June 1998.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z. (2000) Speed-dependent representative emission factors for catalyst passenger cars and influencing parameters. Atmospheric Environment 34. 4611-4619.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z. (2001) An empirical method for predicting exhaust emissions of regulated pollutants from future vehicle technologies. Atmospheric Environment 35. 1985-1999.
- Peace, H., Owen, B., Raper, D.W. (2004) Identifying the contribution of different urban highway air pollution sources. Science of the Total Environment 334-335. 347–357.
- PNAC (2003) Estudos de Base – Cenário de Referência do Sector dos Transportes (1990-2020). Plano Nacional para as Alterações Climáticas. Instituto do Ambiente
- Seinfeld, J. H., Pandis S. N. (1998) Atmospheric Chemistry and Physics – From Air Pollution to Climate Change. Wiley – Interscience. New York.

- SFT (2004) National Inventory Report 2004 – Norway. Norwegian Pollution Control Authority. Norway.
- Sillman, S. (1999). The relation between ozone, NO<sub>x</sub> and hydrocarbons in urban and polluted rural environment. *Atmospheric Environment* 33. 1821-1845.
- Stopher, P.R. and Haoquiang F. (1997) Feasible Improvements to Travel-Forecasting Procedures for Air Quality Analysis. In *Transportation Planning and Air Quality III—Emerging Strategies and Working Solutions*. Conference Proceedings. August 17-20. 1997. Lake Tahoe. California. American Society of Civil Engineers. Reston. Virginia. pp 19-27.
- Suhrbier, J. *et al.* (1997) Improved Transportation Air Quality Analysis Methodologies. In *Transportation Planning and Air Quality III—Emerging Strategies and Working Solutions*. Conference Proceedings. August 17-20. 1997. Lake Tahoe. California. American Society of Civil Engineers. Reston. Virginia. pp 71-85.
- Tchepel, O.A. (2003) Emission Modelling as a Decision Support Tool for Air Quality Management. PhD Thesis. Department of Environment and Planning. University of Aveiro.
- Umweltbundesamt (2004) National Inventory Report 2004. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt). Berlin.
- US EPA (1990) Cancer Risks from Outdoor Exposure to Air Toxics. United States Environmental Protection Agency. Vol. 1. Final Report. Washington DC. USA.
- US EPA (1997) Update Of Fleet Characterization Data For Use in MOBILE 6. Office of Mobile Sources, Environmental Protection Agency.
- Wade, J., Holman, C., Fergusson, M. (1994) Passenger car global warming potential: current and projected levels in the UK. *Energy Policy* 22 (6). 509-522.
- WHO (2003) Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group. World Health Organization. Regional Office for Europe. Bonn. Germany.
- UNFCCC (2005) United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int/>.
- UNFCCC (2004) Common Reporting Format Submission from Italy. 2004 Annex I Party GHG Inventory submissions. United Nations Framework Convention on Climate Change
- UNFCCC (2004) Common Reporting Format Submission from Spain. 2004 Annex I Party GHG Inventory submissions. United Nations Framework Convention on Climate Change
- UNFCCC (2004) Common Reporting Format Submission from Germany. 2004 Annex I Party GHG Inventory submissions. United Nations Framework Convention on Climate Change
- UNFCCC (2004) Common Reporting Format Submission from United Kingdom. 2004 Annex I Party GHG Inventory submissions. United Nations Framework Convention on Climate Change
- UNFCCC (2004) Common Reporting Format Submission from Australia. 2004 Annex I Party GHG Inventory submissions. United Nations Framework Convention on Climate Change



UNFCCC (2004) Common Reporting Format Submission from Norway. 2004 Annex I Party GHG Inventory submissions. United Nations Framework Convention on Climate Change

IA (2003) Relatório de Estado do Ambiente. Instituto do Ambiente.

## **7 ANEXOS**

---

## 7.1 Consumo de Combustível (t)

| Class   | SNAP   | Fuel | Mode   | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995   | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
|---------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| PassCar | 070101 | G    | AE     | 48912  | 83559  | 101996 | 108969 | 121944 | 134452 | 156483 | 183234 | 217499 | 227621 | 242099 | 256639 | 264868 | 254820 |
| PassCar | 070102 | G    | AE     | 12740  | 24198  | 34286  | 41353  | 49367  | 58149  | 72992  | 90090  | 112726 | 123989 | 138541 | 154066 | 164420 | 160802 |
| PassCar | 070103 | G    | AE     | 3834   | 5971   | 6725   | 6855   | 7194   | 8188   | 10288  | 11744  | 13824  | 15654  | 18103  | 20301  | 21965  | 22108  |
| LDV     | 070201 | G    | AE     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| HDV     | 070301 | G    | AE     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Moped   | 0704   | G    | AE     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Moto_2t | 070501 | G    | AE     | 275    | 478    | 601    | 662    | 761    | 857    | 1031   | 1260   | 1547   | 1679   | 1811   | 1940   | 2031   | 1988   |
| Moto_4t | 070503 | G    | AE     | 301    | 524    | 659    | 725    | 834    | 940    | 1130   | 1381   | 1696   | 1840   | 2017   | 2188   | 2315   | 2286   |
| Moto_4t | 070504 | G    | AE     | 797    | 1386   | 1744   | 1920   | 2206   | 2487   | 2991   | 3656   | 4488   | 4870   | 5336   | 5790   | 6125   | 6048   |
| Moto_4t | 070505 | G    | AE     | 449    | 781    | 982    | 1081   | 1243   | 1401   | 1685   | 2059   | 2528   | 2743   | 3006   | 3262   | 3451   | 3407   |
| PassCar | 070101 | G    | Rural  | 320600 | 324312 | 349766 | 360857 | 361782 | 341315 | 349959 | 326015 | 312364 | 309188 | 304028 | 269778 | 280390 | 270272 |
| PassCar | 070102 | G    | Rural  | 85947  | 96892  | 121642 | 139840 | 149008 | 149685 | 164971 | 161911 | 163516 | 170104 | 175728 | 163623 | 176045 | 172819 |
| PassCar | 070103 | G    | Rural  | 25400  | 23320  | 23122  | 22721  | 21380  | 20505  | 22251  | 20092  | 18959  | 20015  | 21147  | 19680  | 21290  | 21380  |
| LDV     | 070201 | G    | Rural  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| HDV     | 070301 | G    | Rural  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Moped   | 0704   | G    | Rural  | 5738   | 5372   | 5225   | 4979   | 4652   | 4187   | 4113   | 3707   | 3432   | 3193   | 2946   | 2472   | 2445   | 2242   |
| Moto_2t | 070501 | G    | Rural  | 50     | 54     | 67     | 81     | 87     | 88     | 96     | 97     | 100    | 107    | 111    | 104    | 113    | 113    |
| Moto_4t | 070503 | G    | Rural  | 41     | 45     | 56     | 67     | 72     | 72     | 79     | 80     | 83     | 88     | 94     | 89     | 98     | 99     |
| Moto_4t | 070504 | G    | Rural  | 109    | 118    | 147    | 176    | 189    | 191    | 209    | 211    | 218    | 234    | 248    | 235    | 259    | 261    |
| Moto_4t | 070505 | G    | Rural  | 61     | 67     | 83     | 99     | 107    | 108    | 118    | 119    | 123    | 132    | 139    | 132    | 146    | 147    |
| PassCar | 070101 | G    | Urbano | 605252 | 645834 | 689117 | 695341 | 692403 | 709293 | 676848 | 646952 | 644337 | 626393 | 613811 | 544535 | 561658 | 538646 |
| PassCar | 070102 | G    | Urbano | 169518 | 201964 | 251435 | 292033 | 314226 | 347353 | 360824 | 366208 | 386993 | 397189 | 410448 | 383281 | 409890 | 400360 |
| PassCar | 070103 | G    | Urbano | 54765  | 53606  | 53101  | 51602  | 48536  | 51988  | 54339  | 50962  | 50692  | 53885  | 57903  | 54706  | 59487  | 59928  |
| LDV     | 070201 | G    | Urbano | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| HDV     | 070301 | G    | Urbano | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Moped   | 0704   | G    | Urbano | 16469  | 17872  | 19132  | 19478  | 19438  | 20183  | 19469  | 18717  | 18520  | 17739  | 16937  | 14693  | 14924  | 13602  |
| Moto_2t | 070501 | G    | Urbano | 64     | 74     | 93     | 108    | 114    | 124    | 126    | 130    | 139    | 145    | 146    | 133    | 141    | 138    |
| Moto_4t | 070503 | G    | Urbano | 64     | 74     | 92     | 107    | 113    | 123    | 125    | 128    | 137    | 143    | 152    | 144    | 158    | 159    |
| Moto_4t | 070504 | G    | Urbano | 169    | 195    | 243    | 282    | 299    | 326    | 330    | 340    | 363    | 379    | 401    | 382    | 418    | 421    |
| Moto_4t | 070505 | G    | Urbano | 95     | 110    | 137    | 159    | 168    | 184    | 186    | 191    | 204    | 213    | 226    | 215    | 235    | 237    |

Legenda: PassCar: Ligeiro de Passageiros; LDV: Ligeiro de Mercadorias; HDV: Pesado de Mercadorias; Bus: Autocarro Urbano; Coach: Autocarro Regional; G: Gasolina; D: Gasóleo; GPL: Gás Petróleo Liquefeito; AE: Auto-estrada

| Classe  | SNAP   | Comb | Modo   | 1990   | 1991   | 1992   | 1993   | 1994   | 1995   | 1996   | 1997   | 1998    | 1999    | 2000    | 2001    | 2002    | 2003    |
|---------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PassCar | 070104 | D    | AE     | 2288   | 4606   | 6318   | 7682   | 9881   | 11983  | 15760  | 21039  | 28346   | 33758   | 40523   | 48512   | 57352   | 63869   |
| PassCar | 070105 | D    | AE     | 1287   | 2017   | 2270   | 2363   | 2656   | 2898   | 3370   | 4247   | 6052    | 7866    | 10731   | 14157   | 17697   | 20347   |
| LDV     | 070202 | D    | AE     | 47674  | 80641  | 97725  | 106101 | 123185 | 137423 | 165296 | 202378 | 251952  | 274816  | 311620  | 344995  | 368465  | 367488  |
| HDV     | 070302 | D    | AE     | 2928   | 4788   | 5951   | 6461   | 7341   | 8168   | 11126  | 13206  | 15864   | 17070   | 18755   | 20479   | 21708   | 21655   |
| HDV     | 070303 | D    | AE     | 26156  | 42766  | 53154  | 57709  | 65569  | 72955  | 99381  | 117958 | 141701  | 152467  | 167517  | 182918  | 193894  | 193422  |
| HDV     | 070304 | D    | AE     | 10256  | 16768  | 20842  | 22628  | 25709  | 28606  | 38967  | 46251  | 55561   | 59782   | 65683   | 71722   | 76026   | 75841   |
| HDV     | 070305 | D    | AE     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus     | 070306 | D    | AE     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Coach   | 070307 | D    | AE     | 2235   | 3338   | 3878   | 3798   | 4253   | 4629   | 5909   | 6664   | 7987    | 8833    | 10560   | 10453   | 9821    | 8463    |
| PassCar | 070104 | D    | Rural  | 8055   | 9238   | 11725  | 14355  | 18571  | 20794  | 26783  | 33534  | 44924   | 57092   | 77314   | 78417   | 89480   | 112772  |
| PassCar | 070105 | D    | Rural  | 4533   | 4044   | 4077   | 4210   | 4736   | 4767   | 5427   | 6481   | 9358    | 13156   | 20430   | 22921   | 27721   | 36093   |
| LDV     | 070202 | D    | Rural  | 587515 | 585413 | 615529 | 623611 | 687448 | 740768 | 778274 | 877145 | 1065345 | 1096980 | 1342140 | 1562732 | 1546906 | 1433835 |
| HDV     | 070302 | D    | Rural  | 19971  | 19477  | 19842  | 20676  | 20605  | 21253  | 20957  | 20294  | 21253   | 19968   | 22078   | 27817   | 26955   | 23225   |
| HDV     | 070303 | D    | Rural  | 265142 | 262064 | 268926 | 280032 | 280922 | 291449 | 293395 | 290606 | 304317  | 333657  | 337273  | 349620  | 344921  | 343146  |
| HDV     | 070304 | D    | Rural  | 172529 | 172643 | 178335 | 185582 | 187272 | 195292 | 200128 | 201964 | 224606  | 242073  | 194734  | 183155  | 176978  | 161854  |
| HDV     | 070305 | D    | Rural  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus     | 070306 | D    | Rural  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Coach   | 070307 | D    | Rural  | 83439  | 77340  | 75227  | 70574  | 70645  | 72469  | 70916  | 69312  | 79226   | 87065   | 111001  | 90136   | 79574   | 77392   |
| PassCar | 070104 | D    | Urbano | 18432  | 22571  | 27509  | 31687  | 39421  | 46985  | 55249  | 69676  | 95331   | 116963  | 155645  | 155905  | 174694  | 217166  |
| PassCar | 070105 | D    | Urbano | 10373  | 9882   | 9855   | 9702   | 10541  | 11305  | 11752  | 14003  | 20302   | 27222   | 41208   | 45504   | 53928   | 69219   |
| LDV     | 070202 | D    | Urbano | 213716 | 217903 | 231726 | 235628 | 261744 | 284108 | 302543 | 342349 | 423504  | 465654  | 572821  | 519234  | 514292  | 572471  |
| HDV     | 070302 | D    | Urbano | 3008   | 3096   | 3246   | 3373   | 3448   | 3636   | 3866   | 4048   | 4730    | 5082    | 6007    | 5424    | 5429    | 6087    |
| HDV     | 070303 | D    | Urbano | 43727  | 45016  | 47189  | 49038  | 50127  | 52857  | 56208  | 58847  | 68760   | 73879   | 87336   | 78857   | 78925   | 88497   |
| HDV     | 070304 | D    | Urbano | 30364  | 31259  | 32768  | 34052  | 34808  | 36704  | 39031  | 40863  | 47747   | 51301   | 60646   | 54758   | 54806   | 61452   |
| HDV     | 070305 | D    | Urbano | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Bus     | 070306 | D    | Urbano | 22913  | 22548  | 23089  | 22591  | 23725  | 25482  | 26413  | 29983  | 30989   | 41090   | 41428   | 41466   | 41619   | 42101   |
| Coach   | 070307 | D    | Urbano | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| PassCar | 070106 | GPL  | AE     | 3      | 11     | 22     | 26     | 29     | 80     | 544    | 5947   | 7773    | 9444    | 10429   | 9210    | 9245    | 8767    |
| PassCar | 070106 | GPL  | Rural  | 7      | 15     | 26     | 29     | 31     | 70     | 442    | 3940   | 4062    | 4959    | 4074    | 4319    | 4187    | 4133    |
| PassCar | 070106 | GPL  | Urbano | 11     | 27     | 45     | 49     | 51     | 123    | 718    | 6517   | 6913    | 8197    | 6646    | 6979    | 6661    | 6501    |

Legenda: PassCar: Ligeiro de Passageiros; LDV: Ligeiro de Mercadorias; HDV: Pesado de Mercadorias; Bus: Autocarro Urbano; Coach: Autocarro Regional; G: Gasolina; D: Gasóleo; GPL: Gás Petróleo Liquefeito; AE: Auto-estrada

## 7.2 Distância Percorrida (km/veículo)

| Classe          | Comb.    | Modo   | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
|-----------------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Lig. Pass.      | Gasóleo  | AE     | 686   | 1077  | 1212  | 1223  | 1297  | 1386  | 1571  | 1797  | 2073  | 2108  | 2208  | 2327  | 2417  | 2368  |
| Lig. Pass.      | Gasóleo  | Rural  | 4149  | 3921  | 3952  | 4110  | 4207  | 3930  | 4284  | 4238  | 4143  | 4293  | 4380  | 4451  | 4554  | 4602  |
| Lig. Pass.      | Gasóleo  | Urbano | 5197  | 5244  | 5292  | 5339  | 5387  | 5434  | 5483  | 5531  | 5579  | 5628  | 5677  | 5725  | 5775  | 5775  |
| Lig. Merc.      | Gasóleo  | AE     | 686   | 1077  | 1212  | 1223  | 1297  | 1386  | 1571  | 1797  | 2073  | 2108  | 2208  | 2327  | 2417  | 2368  |
| Lig. Merc.      | Gasóleo  | Rural  | 17229 | 16838 | 16703 | 16693 | 16618 | 16530 | 16344 | 16118 | 15664 | 14514 | 14280 | 18135 | 17909 | 14927 |
| Lig. Merc.      | Gasóleo  | Urbano | 4370  | 4370  | 4370  | 4370  | 4370  | 4370  | 4370  | 4317  | 4264  | 4211  | 4158  | 4105  | 4052  | 4052  |
| Pesado Merc.    | Gasóleo  | AE     | 2020  | 3038  | 3554  | 3505  | 3952  | 4331  | 5568  | 6752  | 8053  | 8366  | 8945  | 9450  | 9763  | 9499  |
| Pesado Merc.    | Gasóleo  | Rural  | 29882 | 29118 | 28732 | 28768 | 28433 | 28148 | 27221 | 26333 | 24979 | 24789 | 19239 | 21451 | 20974 | 17650 |
| Pesado Merc.    | Gasóleo  | Urbano | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  | 3302  |
| Auto-carro Urb. | Gasóleo  | AE     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Auto-carro Urb. | Gasóleo  | Rural  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Auto-carro Urb. | Gasóleo  | Urbano | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 | 46557 |
| Auto-carro reg. | Gasóleo  | AE     | 2020  | 3038  | 3554  | 3505  | 3952  | 4331  | 5568  | 6752  | 8053  | 8366  | 8945  | 9450  | 9763  | 9499  |
| Auto-carro reg. | Gasóleo  | Rural  | 69820 | 68802 | 68287 | 68335 | 67888 | 67509 | 66272 | 65089 | 63788 | 63475 | 62896 | 62390 | 62077 | 62341 |
| Auto-carro reg. | Gasóleo  | Urbano | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Lig. Pass.      | Gasolina | AE     | 686   | 1077  | 1212  | 1223  | 1297  | 1386  | 1571  | 1797  | 2073  | 2108  | 2208  | 2327  | 2417  | 2368  |
| Lig. Pass.      | Gasolina | Rural  | 4149  | 3921  | 3952  | 4110  | 4207  | 3930  | 4284  | 4238  | 4143  | 4293  | 4380  | 4451  | 4554  | 4602  |
| Lig. Pass.      | Gasolina | Urbano | 5197  | 5244  | 5292  | 5339  | 5387  | 5434  | 5483  | 5531  | 5579  | 5628  | 5677  | 5725  | 5775  | 5775  |
| Ciclomotor      | Gasolina | Urbano | 562   | 641   | 720   | 799   | 878   | 957   | 1036  | 1115  | 1194  | 1272  | 1351  | 1430  | 1509  | 1509  |
| Ciclomotor      | Gasolina | Rural  | 196   | 193   | 197   | 204   | 210   | 199   | 219   | 221   | 221   | 229   | 235   | 241   | 247   | 249   |
| Moto            | Gasolina | AE     | 821   | 1224  | 1227  | 1113  | 1144  | 1177  | 1303  | 1448  | 1614  | 1585  | 1624  | 1667  | 1703  | 1653  |
| Moto            | Gasolina | Rural  | 131   | 124   | 125   | 130   | 133   | 124   | 136   | 134   | 131   | 136   | 139   | 141   | 144   | 146   |
| Moto            | Gasolina | Urbano | 165   | 166   | 168   | 169   | 171   | 172   | 174   | 175   | 177   | 178   | 180   | 181   | 183   | 183   |
| Lig. Pass.      | LPG      | AE     | 686   | 1077  | 1212  | 1223  | 1297  | 1386  | 1571  | 1797  | 2073  | 2108  | 2208  | 2327  | 2417  | 2368  |
| Lig. Pass.      | LPG      | Rural  | 4149  | 3921  | 3952  | 4110  | 4207  | 3930  | 4284  | 4238  | 4143  | 4293  | 4380  | 4451  | 4554  | 4602  |
| Lig. Pass.      | LPG      | Urbano | 5197  | 5244  | 5292  | 5339  | 5387  | 5434  | 5483  | 5531  | 5579  | 5628  | 5677  | 5725  | 5775  | 5775  |